Angiographie cérébrale normale

J Chiras
D Lô
JN Vallée

Résumé. – *L'artériographie cérébrale reste à l'heure actuelle le moyen le plus approprié pour l'étude des vaisseaux cérébraux, même si le développement des techniques non invasives telles que l'angio-imagerie par résonance magnétique ou l'angioscanner en a réduit les indications en pathologie.*

Dans tous les cas, elle reste le geste indispensable à tout acte de neuroradiologie interventionnelle, en particulier dans le domaine du traitement des malformations vasculaires ou de la pathologie cérébrale ischémique.

La connaissance des techniques d'abord et de l'angioanatomie normale décrite dans cet article est indispensable pour la pratique de la neuroradiologie interventionnelle, mais également pour une meilleure compréhension de la pathologie cérébrale vasculaire.

Mots-clés : *artériographie cérébrale, artère vertébrale, artère carotide interne, artère carotide externe, vascularisation cérébrale, veines cérébrales, système vertébrobasilaire.*

Introduction

Le rôle de l'angiographie dans l'exploration des vaisseaux cérébraux s'est réduit de manière importante avec l'apparition des nouvelles techniques non invasives que sont l'échographie-doppler, l'angioscanner et surtout l'angio-imagerie par résonance magnétique (IRM).

Il n'en demeure pas moins qu'à l'heure actuelle, elle reste l'examen le plus précis pour l'exploration morphologique des artères et veines cérébrales et le seul à fournir des données dynamiques concernant la circulation cérébrale.

Dans sa réalisation, l'angiographie cérébrale doit être adaptée au contexte clinique et comprendre, selon les cas, l'exploration des voies artérielles d'apport, du système carotidien, du système vertébrobasilaire.

Techniques de l'exploration angiographique

La complexité de l'exploration angiographique de la vascularisation cérébrale rend compte de la multiplicité des techniques qui ont été proposées.

La ponction directe longtemps proposée comme technique de choix (ponction carotidienne ou humérale) n'est plus réalisée qu'en cas d'échec ou d'impossibilité des techniques de cathétérisme sélectif.

CATHÉTÉRISME SÉLECTIF

Cette méthode d'exploration est actuellement la plus couramment utilisée du fait des progrès très importants réalisés dans la qualité du matériel de cathétérisme qui en a amélioré la fiabilité et la sécurité. Cette technique permet d'explorer dans le même temps les voies artérielles d'abord et l'ensemble du système carotidien ou vertébrobasilaire en fonction de l'indication clinique.

La voie d'abord fémorale permet ainsi de cathétériser sélectivement les artères vertébrales, carotides internes et carotides externes. Cet examen se fait sous anesthésie locale et sédation anesthésique, rarement sous anesthésie générale, et peut comporter dans le même temps une exploration des troncs supra-aortiques et des vaisseaux intracrâniens sous différentes incidences.

Les clichés, digitalisés et soustraits d'emblée, doivent être pris sur une matrice 1024 × 1024 pour obtenir une définition optimale des branches artérielles et veineuses intracrâniennes.

Les progrès des salles de radiologie vasculaire et des méthodes de traitement des images ont permis de développer une angiographie tridimensionnelle qui permet, à partir d'une acquisition angiographique en rotation, de faire une reconstruction volumique de l'arbre vasculaire sur une console indépendante. Ce procédé est particulièrement utile dans l'exploration des malformations vasculaires.

VOIE HUMÉRALE

La technique de l'artériographie par voie humérale consiste à ponctionner l'artère humérale au pli du coude et à injecter à contre-courant, de manière à obtenir un reflux du contraste jusqu'à l'origine du tronc artériel brachiocéphalique à droite ou de la sous-clavière à gauche.

L'apparition des produits de contraste peu osmolaires a amélioré nettement la tolérance à l'examen qui ne nécessite qu'une simple sédation.

Du fait de l'asymétrie de distribution des troncs supra-aortiques, les résultats de l'artériographie humérale sont différents à droite et à gauche :

– *à gauche* : l'injection par voie humérale ne permet d'opacifier que l'artère sous-clavière et ses branches, en particulier la vertébrale. Elle

Jacques Chiras : Professeur des Universités, praticien hospitalier.
Daouda Lô : Chef de clinique-assistant des hôpitaux de Paris.
Jean-Noël Vallée : Praticien hospitalier.
Service de neuroradiologie Charcot, groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière, 47-83 boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Chiras J, Lô D et Vallée JN. Angiographie cérébrale normale. Encycl Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, tous droits réservés), Neurologie, 17-032-D-10, 2002, 21 p.

donne une étude de bonne qualité de la sous-clavière gauche, de l'ostium de la vertébrale gauche et du trajet extracrânien de cette artère. Elle donne également une visualisation correcte de la vascularisation de la fosse postérieure. Mais il faut savoir que dans 0,5 % des cas, la vertébrale gauche n'est pas opacifiée par voie humérale car elle naît directement de l'aorte ;

– *à droite* : la présence d'un tronc artériel brachiocéphalique permet d'opacifier, outre la sous-clavière droite et ses branches dont la vertébrale, le système carotidien droit. Cette voie permet donc une exploration peu sélective mais habituellement de qualité satisfaisante de l'ensemble des axes extracrâniens et intracrâniens du côté droit.

Cette technique s'adresse essentiellement à l'exploration des axes vasculaires cérébraux dans leurs segments extracrâniens et à l'étude de la fosse postérieure chez des sujets âgés ou en mauvais état cardiovasculaire.

PONCTION CAROTIDIENNE DIRECTE

C'est la technique la plus ancienne. Elle n'est réalisée actuellement qu'en cas d'échec des techniques de cathétérisme. Elle permet l'exploration de la carotide au cou, de la vascularisation de l'hémiface et de la plus grande partie de l'hémisphère cérébral homolatéral.

L'injection se fait habituellement en isocourant, mais elle peut être réalisée à contre-courant lorsque l'on suspecte l'existence de lésions athéromateuses de la bifurcation carotidienne.

Complications de l'angiographie cérébrale

Elles sont heureusement fort rares mais leur éventualité doit toujours rester à l'esprit du fait de leur gravité.

COMPLICATIONS NEUROLOGIQUES

Ce sont les plus graves. Elles se traduisent par un accident déficitaire focal immédiat dans les territoires explorés. Il est le plus souvent dû à la migration d'une plaque ou d'un thrombus au contact de la sonde lors du cathétérisme ou de l'injection. L'injection d'une bulle d'air ou d'un caillot formé dans le cathéter doit être évitée par une technique rigoureuse. Il faut signaler que des accidents retardés survenus entre la sixième et la 24e heure, dont la pathogénie est discutée, ont pu être signalés.

La fréquence de ces accidents est plus élevée chez les patients athéromateux. Ceci souligne l'importance de réserver la pratique de l'angiographie cérébrale aux centres spécialisés.

Récemment, a été également individualisé un tableau d'encéphalopathie régressive associant une confusion mentale et des troubles visuels pouvant aller jusqu'à la cécité corticale. Ce tableau attribué à une toxicité des produits de contraste iodés est complètement régressif en 2 ou 3 jours.

ACCIDENTS LOCAUX

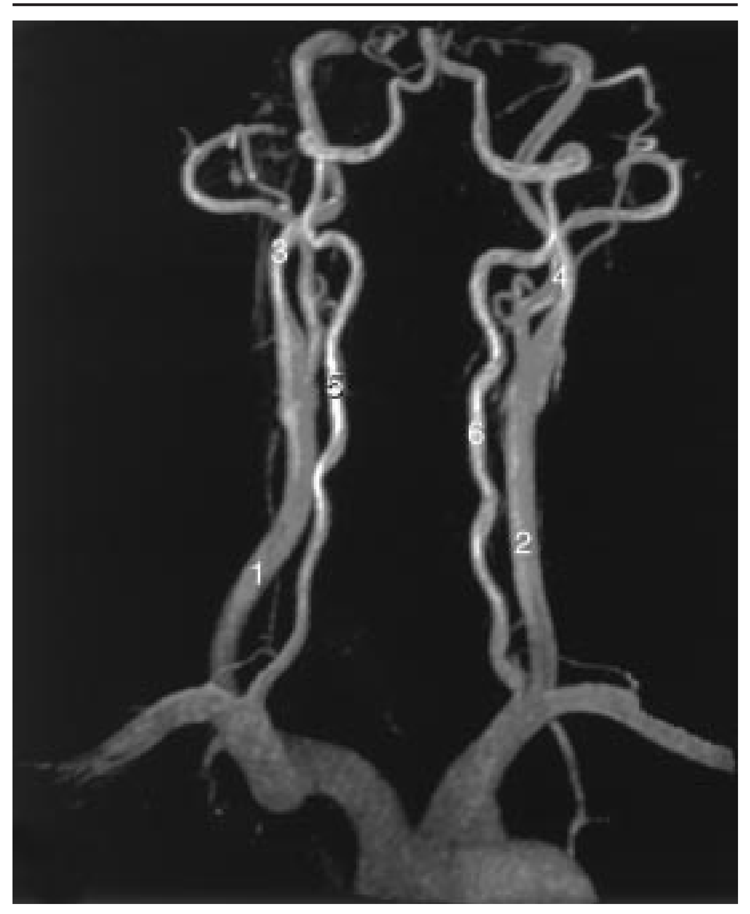
– *Hématomes au point de ponction :* ils sont exceptionnellement importants au point d'entraîner une compression des voies respiratoires (voie carotidienne) ou des axes nerveux de l'avant-bras (voie humérale).

– *Dissections traumatiques au point de ponction* : elles ont pratiquement disparu depuis la généralisation des aiguilles souples en Téflon®.

Angiographie des troncs supra-aortiques

MÉTHODES D'EXPLORATION

L'exploration des voies artérielles d'abord peut être souvent réalisée par des moyens non invasifs que sont l'échotomographie, l'angioscanner dès lors que l'on peut se contenter d'explorations segmentaires, et surtout l'angio-IRM avec injection de gadolinium qui permet d'obtenir dans la grande majorité des cas une exploration satisfaisante de l'ensemble des troncs supra-aortiques *(fig 1)*.



1 *Angio-imagerie par résonance magnétique des troncs supra-aortiques (acquisition 3D TOF après injection de gadolinium).1. Artère carotide primitive droite ; 2. artère carotide primitive gauche ; 3. artère carotide interne droite ; 4. artère carotide interne gauche ; 5. artère vertébrale droite ; 6. artère vertébrale gauche.*

Dans certains cas, une exploration plus précise est nécessaire et elle doit alors comporter une aortographie globale, puis dans la majorité des cas un cathétérisme sélectif des artères carotides et sous-clavières.

Les techniques de ponction rétrograde humérale droite ou gauche et de la carotide primitive gauche ne sont réalisées qu'en cas d'impossibilité de la voie fémorale.

ANATOMIE RADIOLOGIQUE

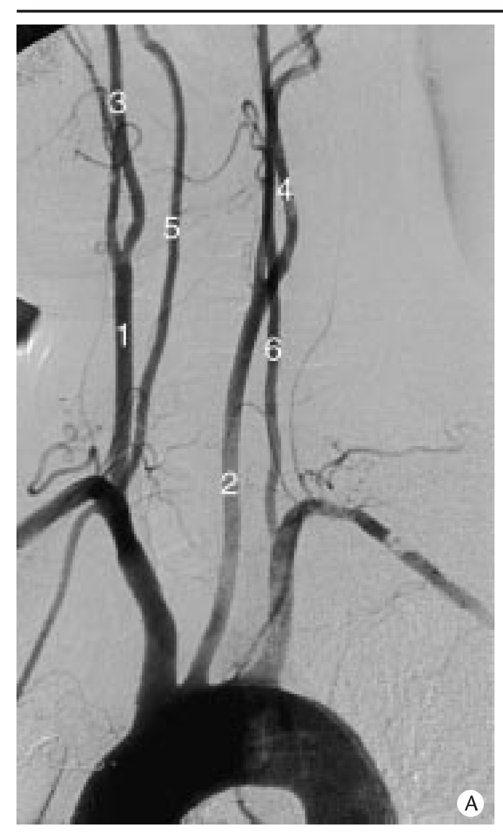
Les artères à destinée cérébrale naissent des branches de la crosse de l'aorte : tronc artériel brachiocéphalique à droite, artères carotide primitive gauche et sous-clavière gauche à gauche. Cette dissymétrie disparaît au niveau du défilé cervicothoracique par la division du tronc artériel brachiocéphalique en artères sous-clavière et carotide primitive droite *(fig 2A, B)*.

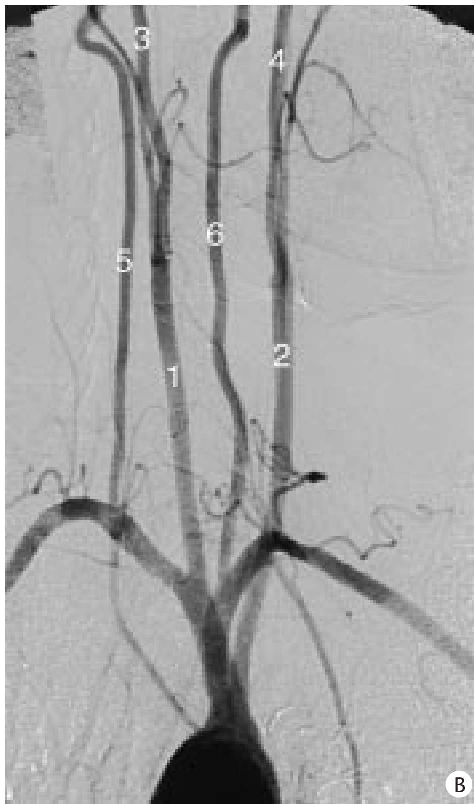
Artère carotide primitive

Elle chemine dans la gouttière carotidienne en dedans du muscle sterno-cléido-mastoïdien. Elle se divise à hauteur de C4 en artères carotide interne et carotide externe. Le niveau de cette bifurcation est en fait variable de C6 à l'angle de la mâchoire *(fig 3A)*.

Artère carotide interne

Elle chemine avec la jugulaire interne dans l'espace maxillopharyngien, puis pénètre dans le rocher où elle parcourt le canal carotidien, d'abord verticalement puis horizontalement, pour pénétrer dans le crâne par le trou déchiré antérieur.





2 *Artériographie des troncs supra-aortiques en incidence oblique.*

A. Oblique antérieure gauche. Cette incidence dégage mieux le dôme aortique, l'origine des troncs supra-aortiques et le trajet cervical des artères carotides et vertébrales.

B. Oblique antérieure droite. Cette incidence dégage mieux l'origine de l'artère vertébrale gauche et donne une incidence complémentaire orthogonale sur les bifurcations carotidiennes.

1. Artère carotide primitive droite ; 2. artère carotide primitive gauche ; 3. artère carotide interne droite ; 4. artère carotide interne gauche ; 5. artère vertébrale droite ; 6. artère vertébrale gauche.







3 *Angiographie carotidienne primitive.*

A. Incidence de profil de la bifurcation carotidienne.

B. Incidence de trois quarts de la bifurcation carotidienne.

C. Angio-imagerie par résonance magnétique 3D TOF après injection de gadolinium (temps d'acquisition inférieur à 1 min).

Elle traverse ensuite la loge caverneuse. Elle pénètre enfin dans les espaces sous-arachnoïdiens intracrâniens en regard de l'apophyse clinoïde antérieure, donne immédiatement l'artère ophtalmique, puis se divise en des branches terminales : artères sylvienne, cérébrale antérieure, communicante postérieure et choroïdienne antérieure.

Artère carotide externe

Elle se divise en plusieurs branches qui vont vasculariser la face, le massif facial, la base du crâne, le scalp et les méninges crâniennes. Il faut signaler surtout les anastomoses constantes de cette artère avec l'artère vertébrale et l'artère ophtalmique.

Le trajet extracrânien de l'artère carotide doit s'explorer selon deux incidences complémentaires, si possible orthogonales. En fait, dans la majorité des cas, la sériographie de profil fournit les renseignements les plus intéressants sur la bifurcation carotidienne, la carotide interne cervicale, la carotide externe et le siphon carotidien. Elle doit être complétée par un oblique tête tournée du côté opposé à la carotide interne cervicale et intrapétreuse *(fig 3B)*.

Artères sous-clavières

Elles cheminent dans le creux sus-claviculaire et donnent les artères vertébrales et les artères musculocutanées pour les parties molles de la base du cou dont l'une fournit fréquemment l'artère spinale antérieure du renflement cervical.

Elles sont bien dégagées sur le cliché de face.

Artères vertébrales

L'artère vertébrale naît à la face supérieure ou postérieure de la sous-clavière, ce qui explique que son origine est rarement dégagée sur les clichés de face, en particulier chez les sujets âgés. Après un court trajet dans le creux sus-claviculaire, elle pénètre dans le canal transversaire en C6, rarement au-dessus. Elle y chemine verticalement. Elle s'en dégage au niveau de l'axis, puis contourne en arrière la masse latérale de l'atlas, en décrivant une boucle assez large, perfore la dure-mère au niveau du trou occipital, et pénètre dans la fosse postérieure. Dans son trajet transversaire, elle peut décrire une boucle supplémentaire, habituellement en C2-C3. Elle se termine dans la fosse postérieure à la face antérieure du tronc cérébral en se réunissant à son homologue controlatérale pour former le tronc basilaire.

Le tronc basilaire chemine à la face antérieure du tronc cérébral jusqu'en regard des clinoïdes postérieures où il se termine en donnant les artères cérébrales postérieures.

L'artère vertébrale extracrânienne et le tronc basilaire son bien étudiés sur les clichés obliques *(fig 4)* qui dégagent bien l'ostium de la vertébrale (vertébrale gauche : oblique antérieure droite ; vertébrale droite : oblique antérieure gauche), mais l'étude de la vertébrale au-dessus de C3 nécessite des incidences de profil et de face *(fig 5)*.

Anastomoses

Toutes ces voies artérielles d'apport sont largement anastomosées entre elles. Ces anastomoses permettent habituellement de suppléer l'occlusion de l'une ou plusieurs d'entre elles. Ces anastomoses sont à la fois extra- et intracrâniennes.

Anastomoses extracrâniennes

On peut distinguer deux types d'anastomoses, transversales et sagittales.

– Les *anastomoses transversales* réunissent des artères homologues droites et gauches. Elles sont formées essentiellement par des branches des artères sous-clavières, des branches des vertébrales (et la plus importante est certainement la réunion des deux vertébrales pour former le tronc basilaire), des branches des artères faciale et thyroïdienne supérieure droite et gauche.

– Les *anastomoses sagittales* ont un rôle fonctionnel plus important. Ce sont essentiellement les anastomoses entre les branches de la sous-clavière et de la carotide externe (thyroïdienne inférieure, occipitale et vertébrale) et entre les carotides externe et interne (faciale, maxillaire interne et ophtalmique à l'angle interne de l'orbite) *(fig 6)*.

Anastomoses intracrâniennes

Le polygone de Willis est la plus importante des anastomoses intracrâniennes. Il est formé par la réunion à la base du cerveau des systèmes carotidiens droit et gauche par l'intermédiaire des artères



4 *Injection sélective de l'artère sous-clavière gauche. Incidence oblique antérieure droite qui dégage l'ostium de l'artère vertébrale gauche.*

cérébrales antérieures et de la communicante antérieure, et la réunion de chaque côté du système vertébrobasilaire au système carotidien homolatéral par l'intermédiaire de la communicante postérieure *(fig 7)*.

Il se compose donc, d'une part, de la terminaison des deux carotides internes, du premier segment des deux cérébrales antérieures et de la communicante antérieure, et d'autre part, des deux communicantes postérieures et du segment précommunicant des deux cérébrales postérieures.

Variations anatomiques

Celles-ci concernent essentiellement les variations d'origine des troncs supra-aortiques et les variations de distribution intracrânienne.

Atypies d'origine *(fig 8)*

La plus fréquente est l'origine directe de la carotide primitive gauche du tronc artériel brachiocéphalique (12 % des cas).

La naissance de la vertébrale gauche de la crosse entre la carotide primitive gauche et la sous-clavière gauche n'est pas rare (6 % des cas d'après Radner).

Citons encore la sous-clavière droite rétro-œsophagienne (arteria lusoria) naissant de l'aorte associée ou non à un tronc commun des carotides primitives droite et gauche.

Anomalies de trajet

Celles-ci sont exceptionnelles. Citons la fenestration de la vertébrale.

Anomalies de distribution intracrânienne

• *Anomalies extracrâniennes*

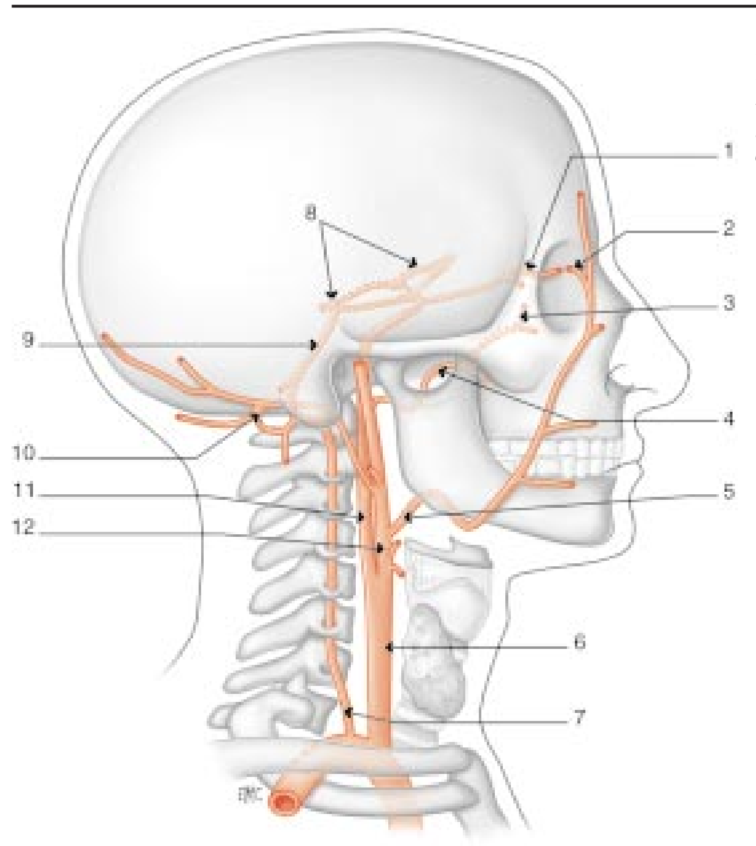
Les plus fréquentes affectent le système vertébrobasilaire :



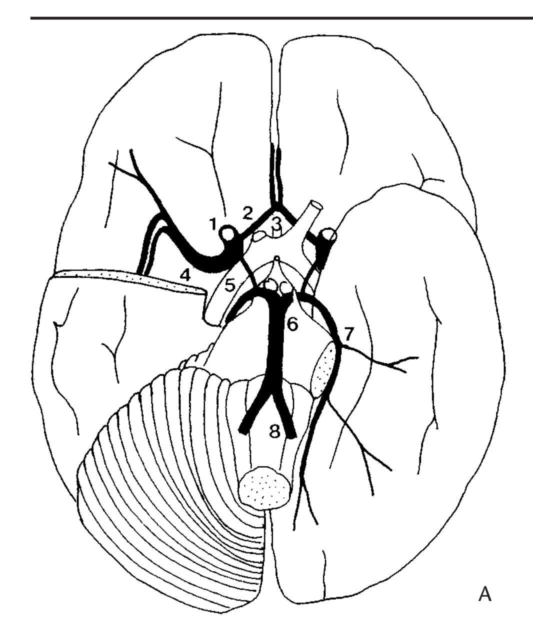




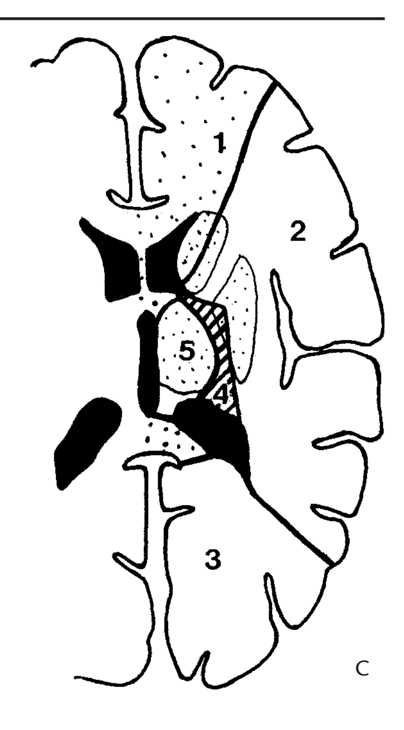
5 *Artère vertébrale au cou.*
A. Incidence de profil.
B. Incidence de trois quarts.
C. Angio-IRM 3D TOF après injection de gadolinium (temps d'acquisition inférieur à 1 min).

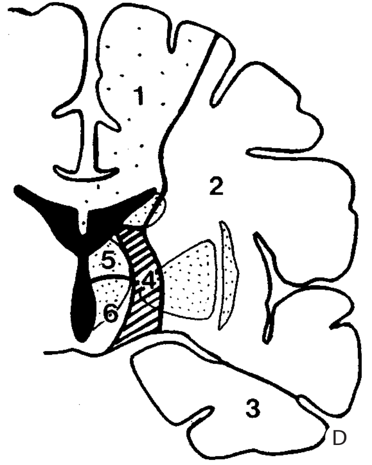


6 *Anastomoses carotidovertébrales. 1. Artère nasale, branche de l'ophtalmique ; 2. artère angulaire, branche de la faciale ; 3. rameaux ethmoïdaux de la maxillaire interne, anastomosés avec ceux de l'ophtalmique ; 4. maxillaire interne ; 5. artère faciale ; 6. carotide primitive ; 7. artère vertébrale ; 8. cercle de Willis ; 9. tronc basilaire ; 10. artère occipitale, dont les rameaux musculaires sont anastomosés à ceux de la vertébrale ; 11. carotide interne ; 12. carotide externe.*









7 *Polygone de Willis.*
A. Schéma du polygone de Willis vu de la face inférieure du cerveau . 1. Artère carotide interne ; 2. segment précommunicant de la cérébrale antérieure ; 3. artère communicante antérieure ; 4. artère sylvienne ; 5. artère communicante postérieure ; 6. tronc basilaire ; 7. artère cérébrale postérieure ; 8. artère vertébrale.
B. Polygone de Willis vu de la face inférieure en angio-imagerie par résonance magnétique 3D TOF (temps d'acquisition 5 min).
C, D. Territoire artériel du cerveau : coupe horizontale (C) et coupe verticofrontale (D) passant par le III[e] *ventricule et les noyaux gris centraux. 1. Artère cérébrale antérieure ; 2. artère sylvienne ; 3. artère cérébrale postérieure ; 4. artère choroïdienne antérieure ; 5. artère choroïdienne postérieure ; 6. artère communicante postérieure.*

– hypoplasie d'une artère vertébrale se terminant en artère cérébelleuse (1 % des cas environ), trois fois plus fréquente à gauche qu'à droite *(fig 9)* ;

– persistance d'une anastomose carotidobasilaire embryonnaire, telle que l'artère trigéminée *(fig 10)*.

• *Anomalies intracrâniennes*

Il s'agit des nombreuses variations du polygone de Willis rapportées par Lazorthes et Gouaze. Les plus fréquentes sont l'absence de communicante antérieure, l'atrésie du premier segment de la cérébrale antérieure (les deux cérébrales antérieures naissent alors d'un même côté), l'absence uni- ou plus rarement bilatérale de la communicante postérieure et la naissance directe d'une cérébrale postérieure de la carotide interne *(fig 11)*.

Angiographie carotidienne

Les voies d'apport du système carotidien ayant été décrites précédemment, nous nous limitons à l'étude des branches intracrâniennes du système carotidien, de la parenchymographie et du retour veineux.

MÉTHODES D'EXPLORATION

Quelle que soit la voie d'abord utilisée, cette exploration doit comprendre dans tous les cas des sériographies de face et de profil. Mais la technique doit être adaptée à la pathologie recherchée et à la région à étudier : ainsi, il peut être utile de modifier l'inclinaison du rayon sur l'incidence de face de manière à obtenir une face haute ou un Worms et parfois de pratiquer des sériographies en incidence de trois quarts.

ANATOMIE RADIOLOGIQUE

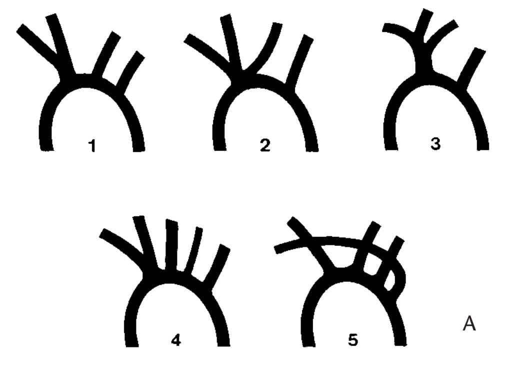
■ *Temps artériel*

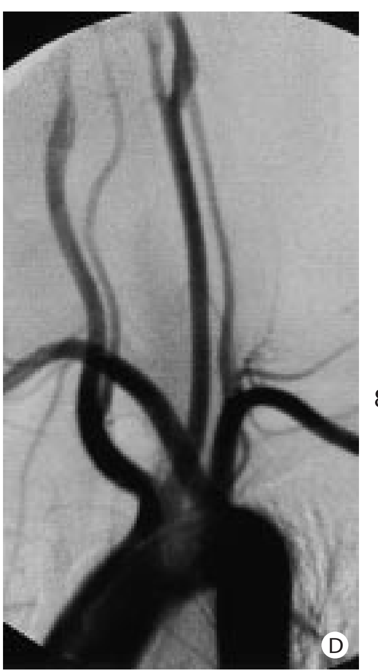
Carotide interne intracrânienne

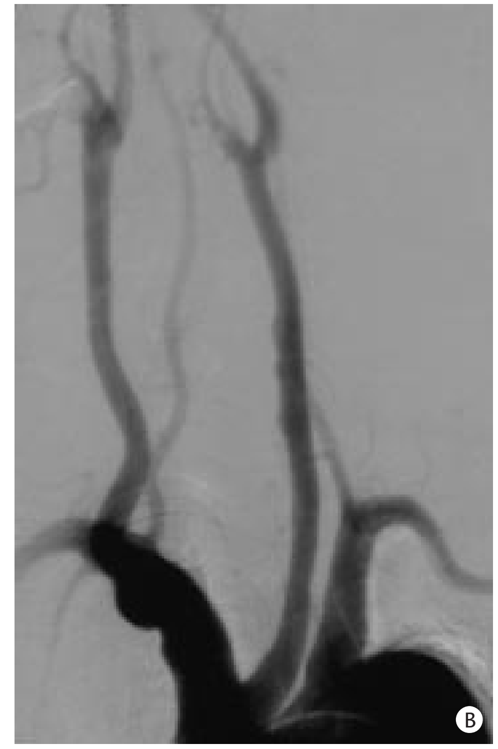
L'artère carotide interne pénètre dans le crâne à la pointe du rocher au niveau du trou déchiré antérieur. Elle traverse la loge caverneuse selon un trajet variable habituellement en « S » italique ouvert en haut, plus ou moins contourné : le siphon carotidien *(fig 12)*. Elle perfore la dure-mère en regard de l'apophyse clinoïde antérieure et se termine en quatre branches terminales : choroïdienne antérieure, communicante postérieure, cérébrale antérieure et cérébrale moyenne.

Dans son trajet caverneux, la carotide interne abandonne plusieurs petites branches qui vascularisent la région hypophysaire, la loge caverneuse, le clivus. La plus importante de ces branches est l'artère méningée de la tente du cervelet (artère de Bernasconi) qui peut naître indifféremment de la carotide droite ou gauche.

Dans son trajet supraclinoïdien, elle donne l'artère ophtalmique *(fig 13)* qui accompagne le nerf optique dans le canal optique et dans

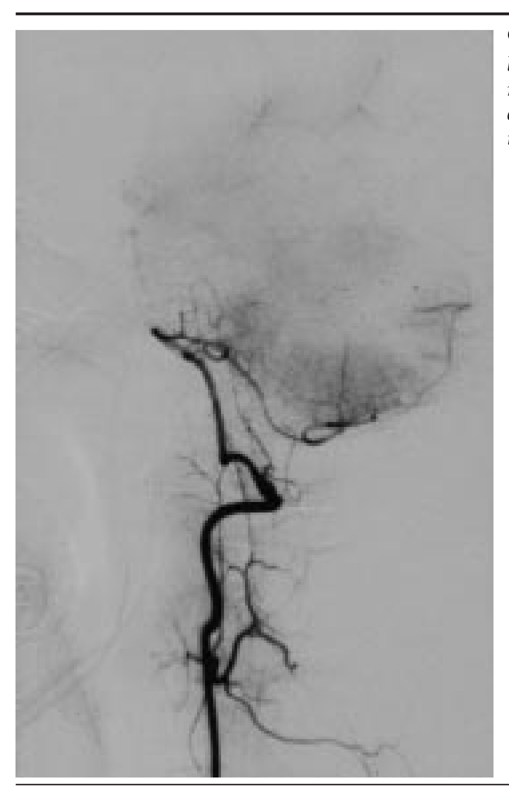








8 *Variation d'origine des troncs supra-aortiques.*
A. Schéma des différentes variations. 1. Disposition normale ; 2. naissance commune de la carotide primitive gauche et du tronc artériel brachiocéphalique (TABC) (16 %) ; 3. naissance de la carotide primitive gauche du TABC (8 %) ; 4. origine directe de la vertébrale gauche de la crosse de l'aorte (6 %) ; 5. artère sous-clavière droite rétro-œsophagienne (1 %).
B. Carotide primitive gauche naissant du TABC.
C. Vertébrale gauche naissant de la crosse de l'aorte.
D. Artère sous-clavière droite rétro-œsophagienne. L'artère vertébrale droite naît de l'artère carotide primitive droite.



9 *Artériographie vertébrale de profil, temps artériel. L'artère vertébrale gauche est rudimentaire et se termine en PICA.*

l'orbite. Elle émet plusieurs collatérales importantes : un rameau angulaire qui s'anastomose avec l'artère faciale et constitue une voie de suppléance efficace en cas d'occlusion de la carotide interne ; les artères ethmoïdales dont l'une donne l'artère méningée antérieure de la faux.

Angiographiquement, le siphon carotidien et l'artère ophtalmique sont bien analysables sur l'incidence de profil. En revanche, la plupart de ses branches intracrâniennes ne sont pas visibles dans les conditions normales, même en agrandissement. Il en est de même de l'artère méningée antérieure. L'incidence de face haute est un complément utile pour visualiser une compression extrinsèque ou un déplacement de la carotide intracrânienne.

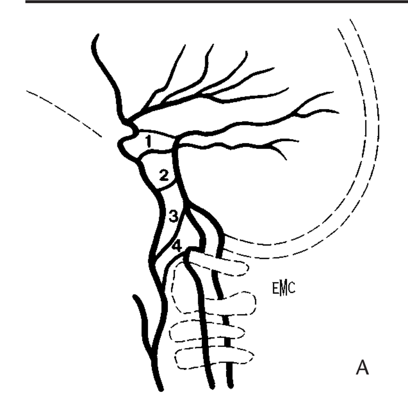
L'artère carotide interne alimente la vascularisation de l'ensemble de l'étage sus-tentoriel, à l'exception des faces internes du lobe temporal, du pôle occipital, du thalamus et du bourrelet du corps calleux qui sont alimentés par les artères cérébrales postérieures issues du système vertébrobasilaire.

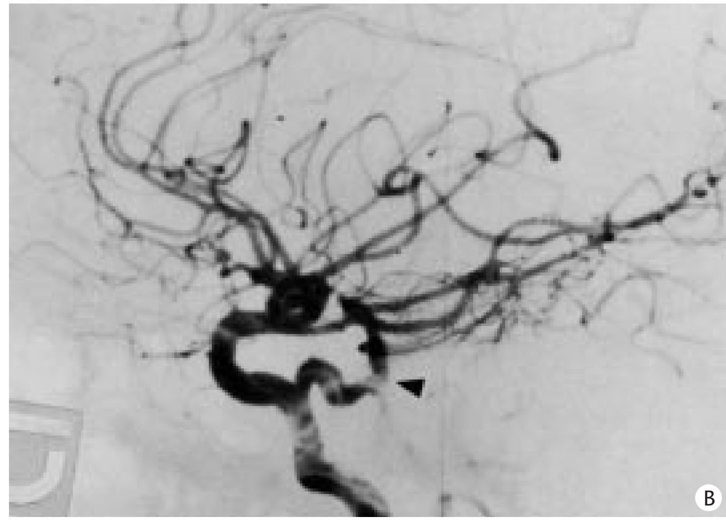
Artère communicante postérieure

Souvent très grêle, il faut plus la considérer comme une branche collatérale que comme une branche de terminaison de la carotide interne. Elle naît de la face postérieure de la carotide supraclinoïdienne et réunit par un trajet antéropostérieur de 1 cm de long environ la carotide interne à la cérébrale postérieure. Elle est donc souvent analysable sur les clichés en incidence de profil, mais aussi de Worms. En revanche, son absence d'injection ne signifie en rien son absence anatomique et ne permet pas de juger de sa valeur fonctionnelle éventuelle.

Artère choroïdienne antérieure

Elle naît de la carotide interne à quelques millimètres au-dessus de la communicante postérieure. Elle chemine en arrière sur la face interne du lobe temporal, suit la fissure choroïdienne, pénètre dans





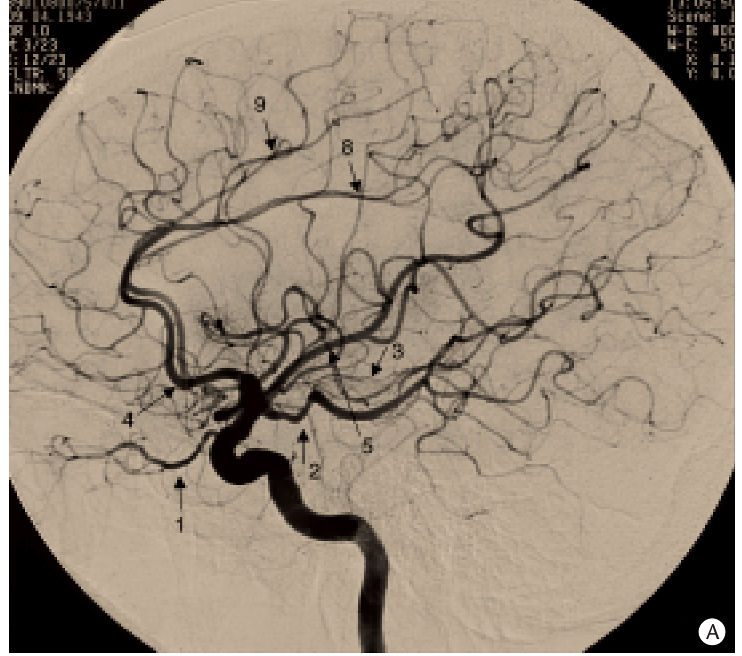


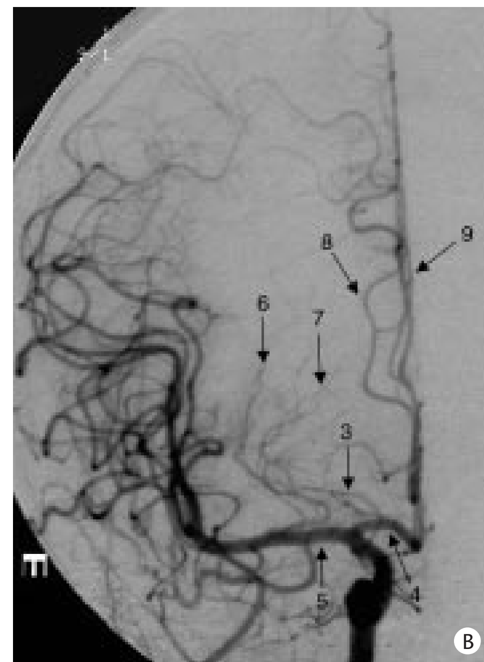
10 *Anastomoses carotidobasilaires embryonnaires.*
A. Développement embryologique des artères à destinée cérébrale. 1. Artère trigéminée ; 2. artère stapédienne ; 3. artère hypoglosse ; 4. artère proatlantale.
B. Anastomoses carotidobasilaires anormales. Artère trigéminée.
C. Anastomoses carotidobasilaires anormales. Artère hypoglosse.





11 *Variations anatomiques du polygone de Willis.*
A, B. Angiographie carotidienne de face. Hypoplasie du segment A1 de l'artère cérébrale antérieure droite avec prise en charge des deux cérébrales antérieures par le système carotidien gauche.
C. Variante du polygone de Willis : l'artère cérébrale postérieure (flèche) naît directement de la terminaison de la carotide interne.

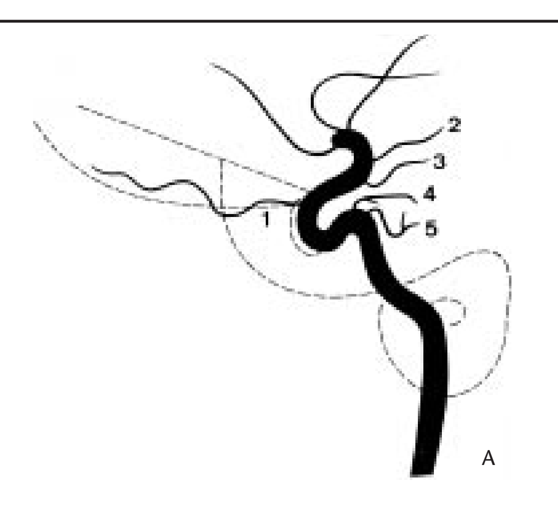


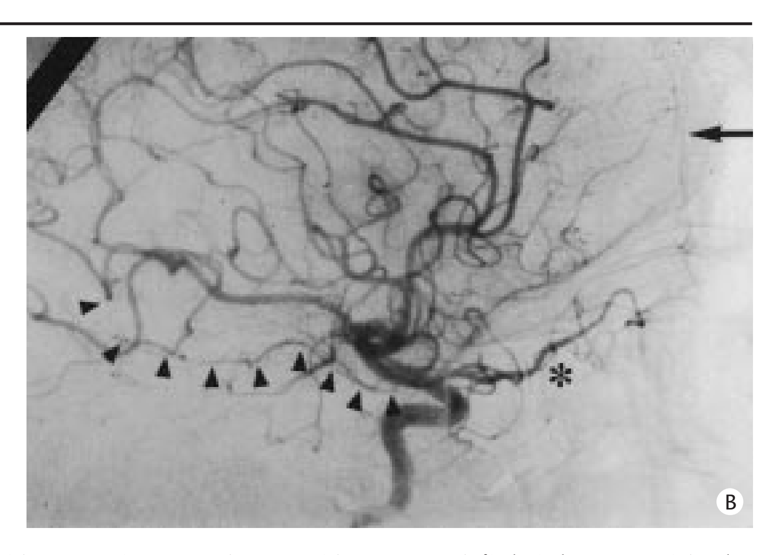




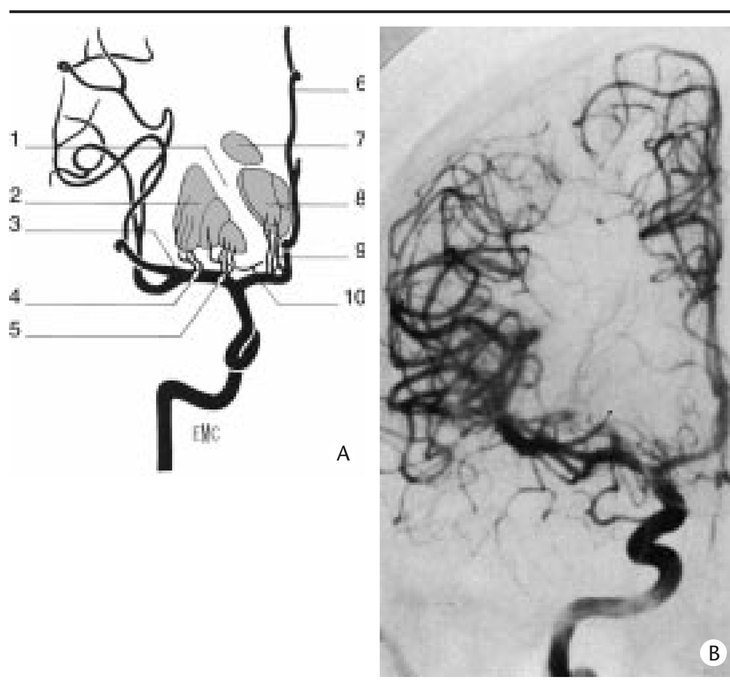


12 *Angiographie carotidienne interne.*
A. Incidence de profil.
B. Incidence de face. 1. Artère ophtalmique ; 2. artère communicante postérieure ; 3. artère choroïdienne antérieure ; 4. artère cérébrale antérieure ; 5. artère cérébrale moyenne ; 6. artères lenticulostriées latérales (branches externes) ; 7. artères lenticulostriées latérales (branches internes) ; 8. artère péricalleuse ; 9. artère callasomarginale.
C. Segmentation du siphon carotidien en cinq portions de C1 à C5 selon Fischer.
D. Siphon carotidien en angio-imagerie par résonance magnétique 3D TOF.

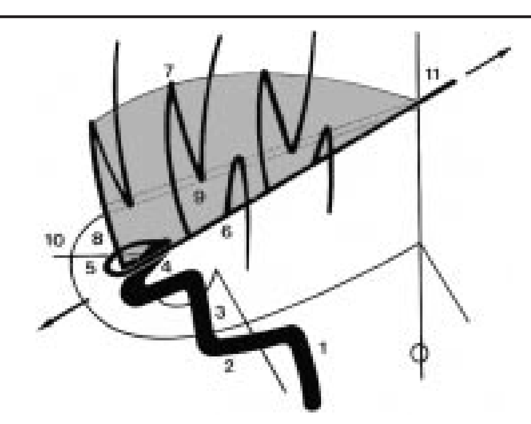




13 *Collatérales du siphon carotidien.*
A. Branches du siphon carotidien. 1. Artère ophtalmique ; 2. artère choroïdienne antérieure ; 3. artère communicante postérieure ; 4. tronc inférolatéral ; 5. tronc méningohypophysaire.
B. Artériographie carotidienne de profil. Cliché en agrandissement dégageant l'artère ophtalmique (étoile) et ses branches : noter l'artère méningée antérieure de la faux (flèche). L'artère choroïdienne antérieure est particulièrement bien visible (têtes de flèches).



14 *Branches perforantes du système carotidien.*
A. Artère lenticulostriée. 1. Capsule interne ; 2. noyau lenticulaire ; 3. artère sylvienne ; 4. artère lenticulostriée latérale (groupe externe) ; 5. artère lenticulostriée latérale (groupe interne) ; 6. artère péricalleuse ; 7. noyau caudé ; 8. thalamus ; 9. artère lenticulostriée médiane (groupe médian) ; 10. artère lenticulostriée médiane (artère de Heubner).
B. Cliché angiographique de face dégageant bien les artères lenticulostriées.



15 *Schéma représentant le triangle insulaire et la division des branches sylviennes. 1. Carotide interne dans l'espace maxillopharyngien ; 2. carotide interne dans le canal carotidien ; 3. premier segment de la carotide interne dans le sinus caverneux ; 4. siphon carotidien ; 5. boucle formée par le segment M1 de la sylvienne ; 6. bord inférieur du triangle insulaire, formé par l'axe sylvien ; 7. bord supérieur du triangle insulaire formé par les points de réflexion supérieurs des branches ascendantes de la sylvienne. C'est ce bord supérieur du triangle insulaire qui forme la ligne insulaire ; 8. première collatérale ascendante (ou artère en « candélabre ») formant la hauteur du triangle : la direction est perpendiculaire à celle de l'axe sylvien ; 9. bissectrice de l'angle postérieur du triangle insulaire formée par une double série de points de réflexion. Cette ligne est parallèle au plancher de la fosse temporale ; 10. ptérion ; 11. sommet du triangle, situé sur une verticale passant par le conduit auditif externe.*

la corne temporale et se termine dans les plexus choroïdes des ventricules latéraux. Elle vascularise l'uncus de l'hippocampe, les bandelettes optiques, le noyau amygdalien, les plexus choroïdes, et partiellement le thalamus et le bras postérieur de la capsule interne.

Angiographiquement, elle est analysable de face et de profil et constitue *(fig 12)* un repère important de la corne temporale. De profil, elle présente un trajet horizontal à convexité supérieure. Elle présente souvent un trajet en « baïonnette » lors de sa pénétration dans la corne temporale, puis se ramifie dans les plexus choroïdes en dessinant une courbe à convexité antérieure. De face (incidence de Worms), elle présente un trajet en « S » plus accentué que les artères lenticulostriées dont il est aisé de la distinguer.

Artère sylvienne

Tronc de l'artère sylvienne (segment M1) : de la terminaison de la carotide interne, l'artère sylvienne se dirige en dehors dans la vallée sylvienne et croise l'espace perforé antérieur. Elle se divise habituellement un peu avant le pôle inférieur de l'insula en deux ou trois troncs principaux. Le premier segment de l'artère n'est bien visible que sur les clichés angiographiques de face. C'est lui qui donne les artères lenticulostriées.

Artères lenticulostriées

Ces branches perforantes sont en nombre variable (de huit à dix) et naissent de la face supérieure du tronc de l'artère sylvienne. Elles vascularisent le pallidum, le putamen et la capsule externe et participent à la vascularisation de la capsule interne.

Angiographiquement, ces branches ne sont visibles de profil que lorsqu'il existe une occlusion de l'artère sylvienne car elles se superposent aux artères insulaires. De face, elles sont bien dégagées mais seuls les plus volumineux de ces rameaux sont visibles sous forme de plusieurs artères en « S » italique dont les plus internes se projettent à environ 25 mm de la ligne médiane et les plus externes à 38 mm de la ligne médiane *(fig 14)*.

Artères insulaires

Au pôle inférieur de l'insula, les branches de division de la sylvienne se recourbent en arrière pour cheminer à sa face externe. Dans ce trajet, elles sont globalement obliques en haut et en arrière et se divisent en leurs branches terminales.

Les branches terminales ascendantes dessinent une boucle à concavité inférieure au bord supérieur de l'insula, puis redescendent et dessinent une boucle à concavité supérieure avant de sortir de la vallée sylvienne et de s'épanouir à la face externe du cerveau. Les branches descendantes dessinent seulement une boucle à concavité inférieure avant de parcourir la face externe du lobe temporal.

L'étude angiographique des artères insulaires a donné lieu à de nombreux travaux. Ces artères constituent un des repères angiographiques essentiels de l'angiographie carotidienne.

De profil, la ligne joignant les points de réflexion supérieurs des branches ascendantes est appelée « ligne insulaire ». Elle est rectiligne ou discrètement convexe vers le haut et correspond au bord supérieur du lobe de l'insula. La direction de l'axe de la sylvienne correspond à une ligne joignant la racine de l'incisive supérieure au centre de la selle turcique. Elle correspond au bord inférieur du lobe de l'insula. Les lignes joignant les points de réflexion inférieurs des branches ascendantes et les points de réflexion des branches descendantes temporales sont grossièrement confondues et parallèles au plancher de la fosse temporale. Elles correspondent à la scissure de Sylvius *(fig 15)*.

De face, la ligne joignant les points de réflexion des branches sylviennes est discrètement oblique en bas et en dedans. Elle reste située environ entre 3 à 4 cm de la table interne de l'os.

Branches corticales de l'artère sylvienne

Celles-ci peuvent être divisées en trois groupes : ascendant, postérieur et descendant. Le groupement de ces différentes artères et leurs origines sont sujets à de nombreuses variations. En revanche, le trajet cortical permet de les individualiser dans la majorité des cas.

On distingue d'avant en arrière :

– l'artère orbitofrontale qui vascularise la face inférieure du lobe frontal ;

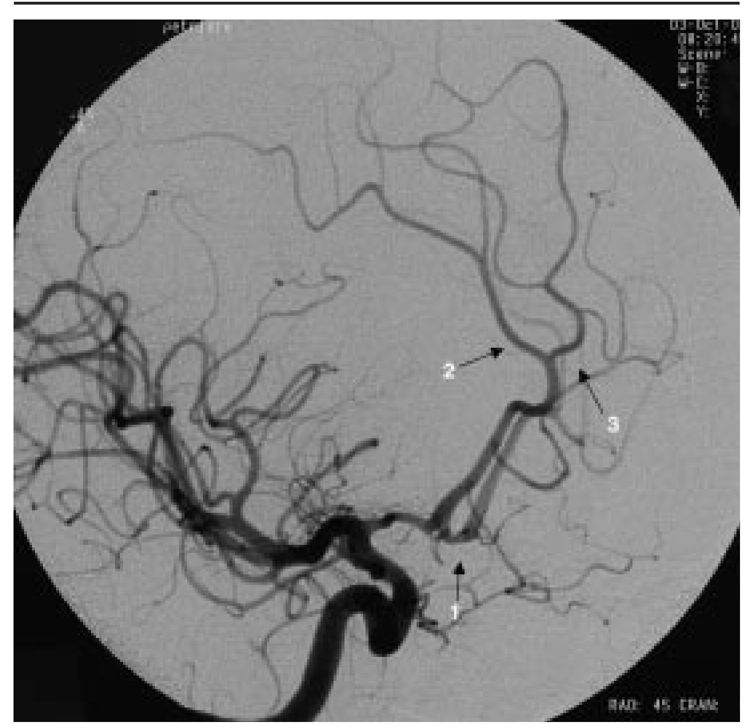
– l'artère frontale antérieure qui vascularise les faces externes de F2 et F3 et l'opercule frontal. Cette artère a parfois une origine commune avec la suivante ou les deux suivantes : c'est le tronc commun des ascendantes ou artères en « candélabre » ;

– l'artère frontale ascendante qui chemine dans le sillon prérolandique et vascularise essentiellement la circonvolution frontale ascendante ;

– l'artère rolandique qui chemine dans le sillon rolandique et postrolandique. Elle vascularise les circonvolutions frontale et pariétale ascendantes ;



16 *Artériographie carotidienne de profil. 1. Artère du pli courbe ; 2. artère temporo-occipitale ; 3. artère temporale postérieure ; 4. artère temporale moyenne ; 5. artère temporale antérieure ; 6. artère sous-orbitaire ; 7. artère orbitofrontale ; 8. artère prérolandique ; 9. artère rolandique ; 10. artère pariétale antérieure ; 11. artère pariétale postérieure.*



17 *Artériographie carotidienne droite de trois quarts. Incidence de trois quarts avec compression controlatérale pour dégager l'artère communicante antérieure. 1. Artère communicante antérieure ; 2. artère péricalleuse ; 3. artère callasomarginale.*

– l'artère pariétale antérieure ou pariétale ascendante ;

– l'artère pariétale postérieure ;

– l'artère angulaire ou artère du pli courbe qui continue globalement l'axe sylvien et vascularise la région frontale postérieure et le lobule du pli courbe.

Les branches descendantes sont au nombre de trois :

– l'artère temporale antérieure qui contourne par en avant le pôle temporal qu'elle vascularise ;

– l'artère temporale moyenne qui chemine obliquement en bas et en arrière à la partie moyenne du lobe temporal et vascularise les parties moyennes et postérieures de T1 et T2 ;

– l'artère temporale postérieure ou temporo-occipitale qui est grossièrement parallèle à la précédente. Elle vascularise la face externe du lobe occipital et la partie postérieure de la face externe du lobe temporal.

La localisation angiographique de ces branches est difficile sur le cliché de face, du fait de leur superposition.

En revanche, de profil elles sont très bien analysables *(fig 16)*. De nombreux auteurs se sont attachés à trouver des repères angiographiques aux artères corticales, en particulier à celles de l'aire motrice. Les méthodes les plus connues sont celles de Ring et de Salamon. Cette dernière méthode consiste à superposer au cliché angiographique de profil un disque en plastique sur lequel sont disposés des plans anatomiques précis de référence (ligne tubercule de la selle-protubérance occipitale externe, ligne bicommunicante), puis de repérer les artères corticales par rapport à leur projection la plus fréquente visualisée sur le disque.

Artère cérébrale antérieure

• *Segment précommunicant ou segment A1*

De la terminaison de la carotide interne, il se dirige en dedans sur la face inférieure du cerveau pour se terminer à la partie inférieure de la scissure interhémisphérique. Il donne alors l'artère communicante antérieure, puis se redresse pour cheminer dans la scissure interhémisphérique. Dans ce trajet, il surcroise le chiasma et le nerf optique.

Ce segment précommunicant n'est analysable que de face. Il constitue un bon repère de l'extension des tumeurs suprasellaires. Dans ce trajet, l'artère cérébrale antérieure donne des branches perforantes, dont la principale est l'artère de Heubner qui vascularise la partie interne du pallidum et la tête du noyau caudé.

• *Artère communicante antérieure*

Très courte, elle réunit les segments A1 des deux cérébrales antérieures. Elle est inconstante et peut prendre des formes très variées plus ou moins longues et contournées. Son injection angiographique est inconstante, mais lorsqu'elle est fonctionnelle, la compression de la carotide controlatérale permet de l'opacifier en même temps que l'artère cérébrale antérieure controlatérale. À l'inverse, elle peut être dominante, l'une des carotides injectant alors les deux artères cérébrales antérieures tandis que l'autre ne fournit que l'artère sylvienne *(fig 17)*.

L'artère communicante antérieure est habituellement bien déroulée sur les clichés de face et de trois quarts.

• *Artère péricalleuse*

Dans la scissure interhémisphérique, l'artère cérébrale antérieure devient verticale puis atteint le bec du corps calleux dont elle suit le bord supérieur jusqu'à sa terminaison en regard de la scissure pariéto-occipitale interne, prenant le nom d'artère péricalleuse. Dans ce trajet, elle émet différentes collatérales corticales qui vascularisent la face interne des deux tiers antérieurs des hémisphères et la partie interne de leur face externe et se termine en s'anastomosant à l'artère péricalleuse postérieure, branche de la cérébrale postérieure, que nous verrons en étudiant l'artériographie vertébrale.

Si le tronc et le mode de division de l'artère péricalleuse sont très variables et ont donné lieu à des divergences de terminologie, ses branches corticales sont relativement fixes.

On peut distinguer :

– l'artère orbitofrontale qui vascularise la face inférieure du lobe frontal ;

– l'artère frontopolaire qui vascularise le pôle frontal et qui naît parfois de l'artère callosomarginale ;

– l'artère callosomarginale qui chemine dans le sillon callosomarginal et donne trois branches : antérieure, moyenne et postérieure ;

– un tronc artériel pariétal, souvent de calibre notable, qui donne l'artère du lobule paracentral, l'artère pariétale interne et l'artère pariéto-occipitale.

La situation médiane de l'artère péricalleuse lui confère une situation privilégiée pour l'étude des déplacements des structures cérébrales.

De face, l'artère péricalleuse est toujours médiane et présente un trajet ascendant caractéristique. Toutefois, dans son premier segment, elle présente des sinuosités à concavité basse ou controlatérale qu'il faut connaître pour ne pas leur accorder de valeur pathologique. En revanche, dans son trajet le long du corps calleux, elle est en situation médiane, stricte.

Sur le cliché de face, seules les branches antérieures de l'artère péricalleuse sont individualisables. En particulier, leur pénétration dans le sillon frontal supérieur permet de repérer la circonvolution F1.

De profil, l'artère péricalleuse et ses branches sont analysables sur l'ensemble de leur trajet. Elle est d'abord oblique en haut et en avant, décrivant souvent une courbe à concavité antéro-inférieure plus prononcée. Elle présente une courbe marquée en regard du bec du corps calleux pour se diriger horizontalement en arrière selon un trajet souvent concave en bas, parfois sinueux. L'artère callosomarginale, souvent volumineuse, naît du coude de la péricalleuse, monte verticalement, puis suit le sillon callosomarginal en abandonnant ses diverses branches. Dans certains cas, elle est l'artère dominante et son calibre est plus important que celui de l'artère péricalleuse.

■ *Parenchymographie (dynamique circulatoire)*

Sur une sériographie, la disparition des artères et l'apparition des veines se font de manière progressive. L'ensemble de la circulation cérébrale dure environ 8 secondes, le temps artériel environ 2 à 3 secondes, le temps intermédiaire 1 à 2 secondes et le temps veineux 3 à 4 secondes.

De profil, le temps parenchymographique se caractérise par une prise de contraste modérée homogène souvent plus marquée dans la région des noyaux gris centraux.

Le caractère homogène de cette prise de contraste peut permettre de mettre en évidence un vide vasculaire significatif d'un processus expansif ou, à l'inverse, un *blush* plus marqué, témoin d'une tumeur hypervascularisée ou plus rarement d'une perfusion de luxe au cours d'un accident vasculaire.

Il est habituel d'obtenir sur les clichés de profil une image de vide allongée, centrale, sus-jacente aux noyaux gris. Cette image, qui correspond aux corps ventriculaires, est plus fréquente chez le sujet âgé du fait de l'augmentation de taille de ceux-ci.

De face, la prise de contraste est plus prononcée dans les régions corticales, en particulier pariétales. Il est souvent possible de visualiser l'apparition de petites veines qui alimentent la face supérieure du corps calleux, dont la symétrie constitue un repère fiable de la situation du corps calleux.

■ *Retour veineux*

Les veines cérébrales hémisphériques sont constituées de deux groupes distincts : les veines superficielles et les veines profondes. Ces deux groupes se drainent dans les sinus dure-mériens. Ils sont largement anastomosés entre eux, ainsi qu'avec les veines de la fosse postérieure.

Veines corticales

Elles sont sujettes à de nombreuses variations qui rendent leur description et l'étude de leur territoire de drainage très difficiles. On distingue les veines de la face externe et de la face interne.

• *Veines de la face externe*

Elles se répartissent en trois grands groupes selon leur mode de drainage :

– le *groupe supérieur* est formé de veines à direction ascendante, frontales, pariétales et occipitales, qui se jettent dans le sinus longitudinal supérieur. Parmi ces veines, il existe souvent une veine volumineuse prérolandique ou rolandique aisément identifiable ;

– le *groupe postéro-inférieur* est formé de veines temporales et occipitales qui se jettent dans le sinus latéral ;

– le *groupe antéro-inférieur* est formé de veines frontales basses, insulaires et temporales antérieures qui se jettent dans le sinus caverneux.

Le territoire de drainage de ces groupes veineux est extrêmement variable, en particulier en ce qui concerne la région insulaire qui peut se drainer vers le sinus longitudinal, le sinus latéral ou plus rarement la loge caverneuse *(fig 18)*.

Il existe en général deux veines anastomotiques, l'une antérieure ou veine de Trolard, reliant le sinus longitudinal supérieur et le sinus caverneux, l'autre postérieure ou veine de Labbé, reliant le sinus latéral le plus souvent à la précédente, parfois à la fois à la précédente et au sinus longitudinal supérieur.

• *Veines de la face interne*

Ces veines, situées dans la scissure interhémisphérique, forment trois groupes : le premier se jette dans le sinus longitudinal supérieur ; le second, formé de veines temporales internes et occipitales, se jette dans le sinus latéral ; le troisième, formé de veines de l'espace perforé antérieur, se jette dans la veine basilaire.

Les veines corticales sont souvent bien analysables sur les clichés de profil. Elles apparaissent progressivement d'avant en arrière, plus précocement que les veines profondes. Si leur trajet est variable, leur calibre est régulier et croît jusqu'à leur terminaison.

De face, la superposition des différentes veines rend leur repérage angiographique très difficile.

Veines profondes

Elles sont formées essentiellement de la veine cérébrale interne et de la veine basilaire.

• *Veine cérébrale interne*

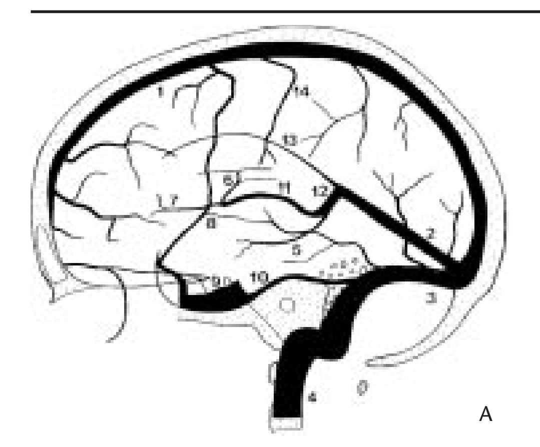
Elle naît au niveau ou parfois un peu en arrière du trou de Monro, de la réunion de deux veines sous-épendymaires : la veine septale et la veine thalamostriée. Elle chemine ensuite dans la toile choroïdienne du IIIe ventricule et se jette dans l'ampoule de Galien en se réunissant à la veine basilaire. Son mode de formation a suscité de nombreux travaux car elle constitue un repère assez constant du trou de Monro. Ses afférences sont la veine septale qui chemine horizontalement dans le septum lucidum sur la ligne médiane et la veine thalamostriée, oblique en bas et en avant et concave en bas, qui chemine dans la paroi externe du ventricule latéral et reçoit fréquemment une veine caudée antérieure.

De face, la veine cérébrale interne n'est pas identifiable car elle se projette sur la ligne médiane sur le sinus droit. En revanche, son origine est marquée par la terminaison de la veine thalamostriée. Celle-ci présente un trajet oblique en bas et en dedans jusqu'à la ligne médiane en faisant avec celle-ci un angle ouvert en haut de 30° environ.

De profil, l'angle veineux se situe à mi-distance d'une ligne joignant le bregma et le bord externe du trou occipital. Les veines qui concourent à sa formation sont pratiquement toujours visibles : la veine septale antérieure a un trajet horizontal, la veine thalamostriée a une direction oblique en bas et en avant jusqu'au confluent veineux, dessinant une courbe harmonieuse concave en arrière.

• *Veine basilaire*

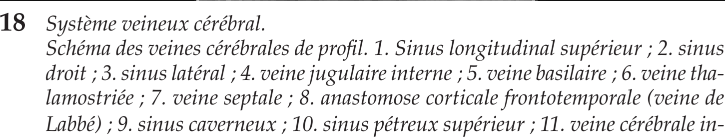
Elle naît au niveau de l'espace perforé antérieur et se dirige obliquement en haut et en dedans en longeant la face latérale du pédoncule cérébral dans la fente de Bichat. Elle se termine dans la veine de Galien en se réunissant à la veine cérébrale interne. Elle










18 *Système veineux cérébral.*
Schéma des veines cérébrales de profil. 1. Sinus longitudinal supérieur ; 2. sinus droit ; 3. sinus latéral ; 4. veine jugulaire interne ; 5. veine basilaire ; 6. veine thalamostriée ; 7. veine septale ; 8. anastomose corticale frontotemporale (veine de Labbé) ; 9. sinus caverneux ; 10. sinus pétreux supérieur ; 11. veine cérébrale interne ; 12. ampoule de Galien ; 13. sinus longitudinal inférieur ; 14. veine corticale pariétale.
B, C, D. Variantes des veines corticales. Absence de prédominance (B), veine rolandique (C) prédominante, veine temporale dominante (D).

draine des veines temporales internes, des veines venant de la corne temporale, des noyaux gris, du thalamus et du pédoncule cérébral. Elle est constamment anastomosée par les veines sylviennes profondes ou insulaires au réseau veineux sylvien superficiel.

De face, elle présente un trajet caractéristique oblique en haut et en dedans jusqu'à la ligne médiane. Sa terminaison sur la ligne médiane rejoint celle de la veine thalamostriée en incidence habituelle.

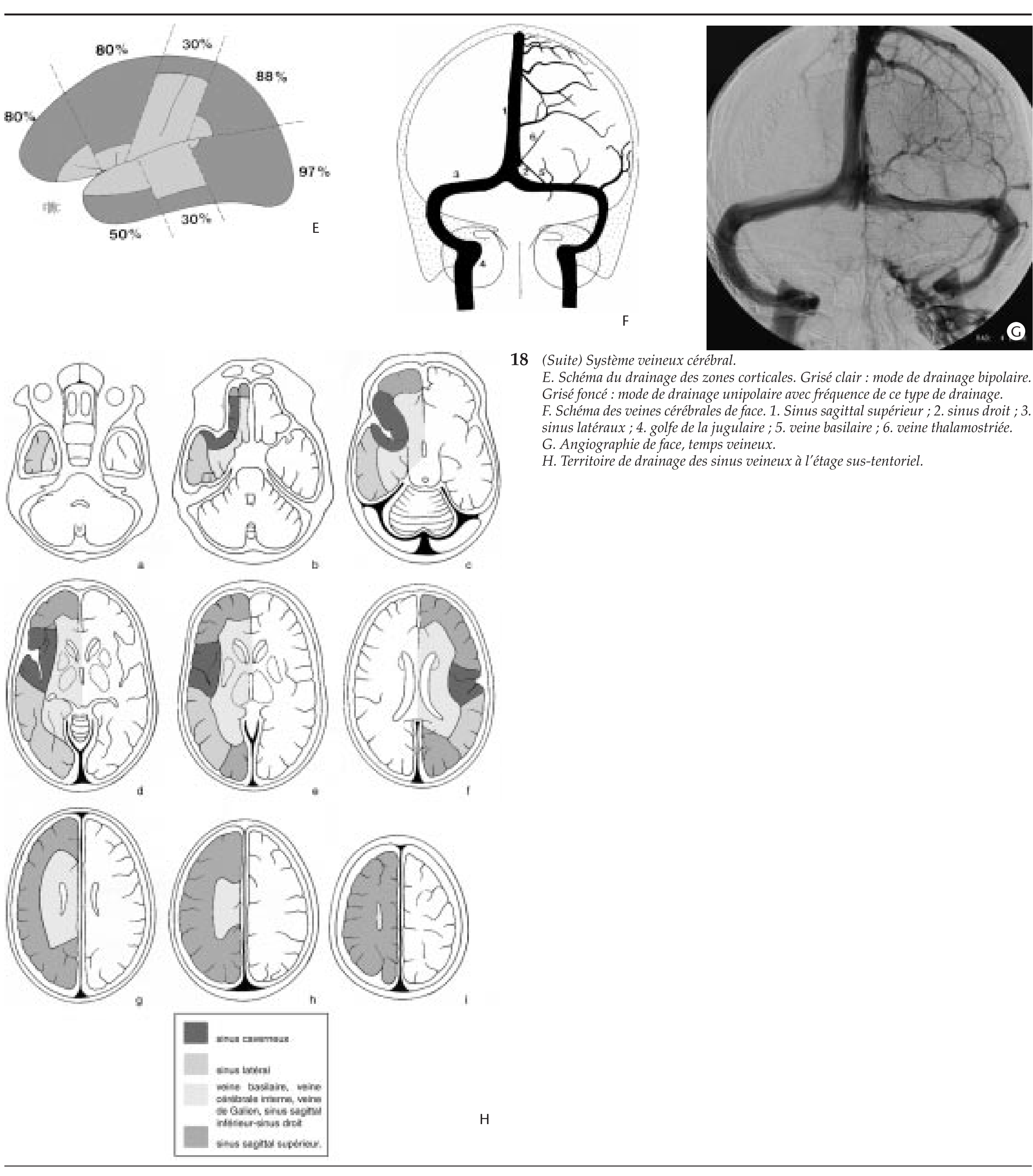
De profil, elle naît 10 mm au-dessus des clinoïdes postérieures et se dirige obliquement en haut et en arrière vers l'ampoule de Galien, dessinant une courbe harmonieuse légèrement concave en haut.

• *Anastomoses des systèmes veineux profond et superficiel*

En dehors des veines sylviennes profondes qui unissent la veine basilaire aux veines sylviennes superficielles, il existe des veines transcérébrales invisibles en angiographie et qui relient les veines sous-épendymaires et les veines corticales.

Sinus duraux

Les sinus duraux sont de véritables canaux inextensibles creusés dans un dédoublement de deux feuillets de la dure-mère crânienne (*fig 19*). On en distingue cinq : le sinus longitudinal supérieur, le sinus longitudinal inférieur et le sinus droit, impair et médians.



18 *(Suite) Système veineux cérébral.*
E. Schéma du drainage des zones corticales. Grisé clair : mode de drainage bipolaire. Grisé foncé : mode de drainage unipolaire avec fréquence de ce type de drainage.
F. Schéma des veines cérébrales de face. 1. Sinus sagittal supérieur ; 2. sinus droit ; 3. sinus latéraux ; 4. golfe de la jugulaire ; 5. veine basilaire ; 6. veine thalamostriée.
G. Angiographie de face, temps veineux.
H. Territoire de drainage des sinus veineux à l'étage sus-tentoriel.

• *Sinus longitudinal supérieur*

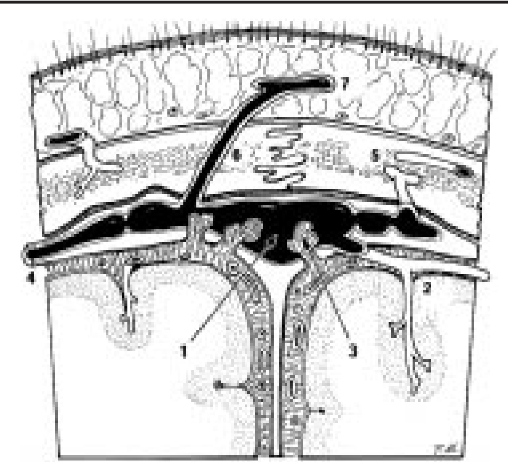
Situé dans l'insertion supérieure de la faux du cerveau, il la parcourt d'avant en arrière depuis l'apophyse crista galli jusqu'à la protubérance occipitale interne.

Il reçoit la plus grande partie des veines drainant les faces externe et interne de l'hémisphère, mais aussi des veines méningées. Il communique avec les granulations de Pacchioni qui constituent un des principaux sièges de résorption du liquide céphalorachidien.

Il est bien visible en angiographie de face et de profil. De face, le sinus longitudinal supérieur est médian et a une forme en triangle plein caractéristique. Son étude justifie la pratique de clichés de trois quarts avec compression qui dégagent mieux que la face ses parties moyenne et antérieure.

Le sinus longitudinal supérieur est le siège de nombreuses variations anatomiques qui peuvent gêner l'interprétation :

– dans sa portion antérieure, il peut être remplacé par deux veines frontales parasagittales ;



19 *Anastomoses extra- et intracrâniennes au voisinage du sinus longitudinal supérieur.*
1. Sinus longitudinal supérieur ; 2. veine corticale ; 3. granulation de Pacchioni ; 4 : veine méningée ; 5. veine diploïque ; 6. veine émissaire transosseuse ; 7. veine sous-cutanée.

– sa terminaison est très variable. Habituellement, il se divise au niveau de la protubérance occipitale interne en deux sinus latéraux. Mais cette division peut avoir lieu plus précocement et, dans près de 50 % des cas, il se divise en fournissant un sinus latéral préférentiel, habituellement le droit.

• *Sinus longitudinal inférieur*

De développement variable, il longe la face supérieure du corps calleux pour se terminer à la partie postérieure de la veine de Galien. Il reçoit de petite veines du corps calleux et de la face interne de l'hémisphère. Invisible de face, il est repérable de profil sous l'aspect d'une veine arciforme concave en bas et grossièrement parallèle à la voûte, mais à distance d'elle et se jetant dans la veine de Galien.

• *Sinus droit*

Situé dans l'angle falcotentoriel, il est formé par la réunion du sinus longitudinal inférieur et de la veine de Galien. Oblique en bas et en arrière, il se jette dans le torcular ou parfois dans l'origine de l'un des deux sinus latéraux, habituellement le gauche.

• *Sinus occipital*

Il s'agit d'un sinus médian inconstant qui chemine dans un dédoublement de la faux du cervelet, se jette dans une veine émissaire mastoïdienne ou le golfe de la jugulaire. Dans certains cas, il peut suppléer à un sinus latéral hypoplasique ou congénitalement absent.

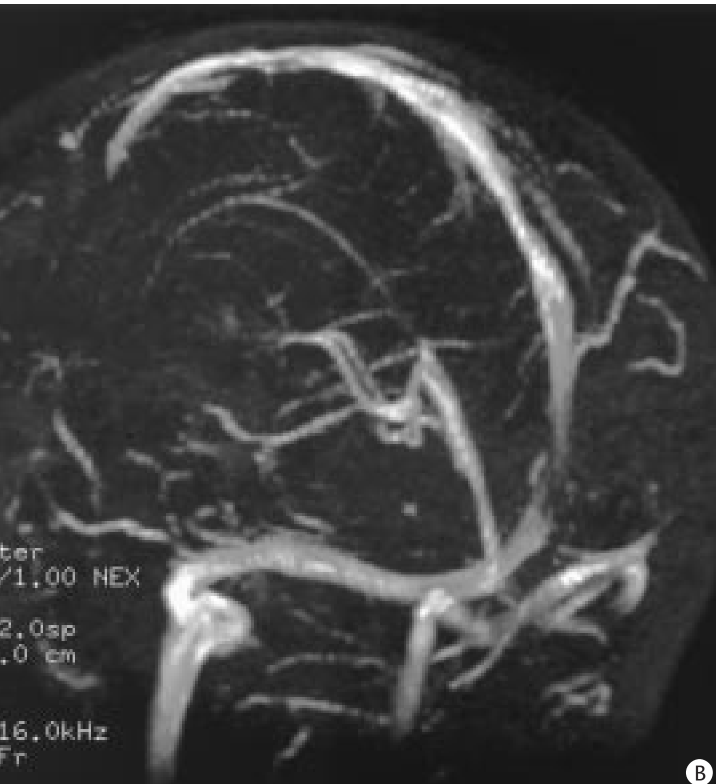
• *Sinus latéraux*

Au nombre de deux, ils naissent de la division du sinus longitudinal supérieur au niveau du torcular. Ils présentent deux segments : le premier ou sinus transverse, horizontal, est compris dans un dédoublement de l'insertion de la tente du cervelet et se termine à l'angle postérosupérieur du rocher ; le deuxième, ou sinus sigmoïde, parcourt obliquement en bas et en dedans la jonction entre l'écaille de l'occiput et la face endocrânienne postérieure du rocher et se termine en se continuant avec le golfe de la jugulaire.

Une asymétrie des deux sinus latéraux est fréquente, le droit drainant préférentiellement le sinus longitudinal supérieur. Un des sinus transverses peut être hypoplasique ou absent (3 % des cas selon Hacker). Enfin, la portion distale du sinus sigmoïde est exceptionnellement absente et remplacée par de volumineuses veines émissaires mastoïdiennes.

S'ils sont bien analysés en angiographie, actuellement leur étude peut se faire de manière atraumatique en angio-IRM veineuse qui donne une vision globale satisfaisante des sinus veineux, mais cette technique est insuffisante pour l'étude des veines corticales *(fig 20)*.

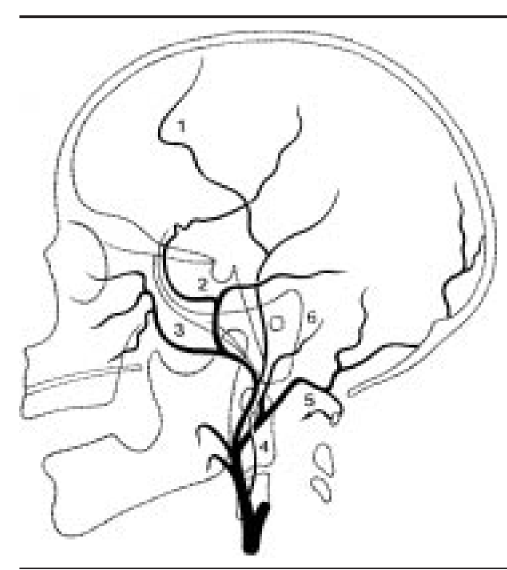




20 *Angio-imagerie par résonance magnétique veineuse en 2D temps de vol (acquisition en 5 min).*
A. Incidence de profil.
B. Incidence de trois quarts.
1. Sinus longitudinal supérieur ; 2. sinus longitudinal inférieur ; 3. sinus droit ; 4. sinus latéral ; 5. veine cérébrale interne ; 6. veine basilaire de Rosenthal.

Artériographie de la carotide externe

L'artère carotide externe fournit la vascularisation du massif facial, des parties molles de la face, du cuir chevelu, mais aussi du squelette osseux de la voûte et de la base du crâne, de la dure-mère et des nerfs crâniens dans leur trajet extracrânien.



21 *Branches de l'artère carotide externe. 1. Artère temporale superficielle ; 2. artère méningée moyenne ; 3. artère maxillaire interne ; 4. artère pharyngienne ascendante ; 5. artère occipitale ; 6. artère auriculaire postérieure.*

À ce titre, il nous semble important de rappeler brièvement son rôle dans la vascularisation des méninges et des structures osseuses du crâne. En effet, son exploration est souvent nécessaire dans l'étude de tumeurs ou des malformations vasculaires de la base du crâne, du rocher ou des méninges.

MÉTHODES D'EXPLORATION

Le cathétérisme sélectif par la méthode de Seldinger est la voie la plus appropriée pour l'étude de la carotide externe. La technique peut s'avérer difficile chez certains sujets âgés.

ANATOMIE RADIOLOGIQUE

Outre toutes les branches destinées à la face *(fig 21)*, qui ont été très bien étudiées par Merland et Djindjian, trois artères jouent un rôle important en pathologie cérébrale. Ce sont l'artère maxillaire interne, l'artère pharyngienne ascendante et l'artère occipitale.

■ *Artère maxillaire interne*

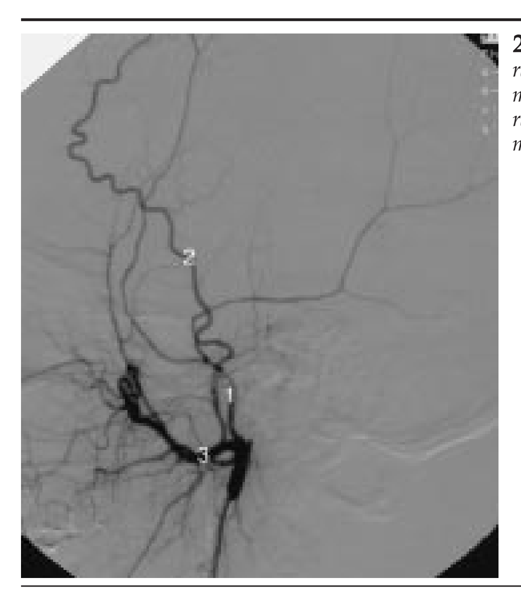
Elle vascularise les fosses nasales, le sinus maxillaire, les parois de l'orbite et les étages antérieur et moyen de la base du crâne. Surtout, elle donne naissance à une collatérale : l'artère méningée moyenne, qui pénètre dans l'étage moyen de la base du crâne par le trou petit rond. Cette branche vascularise la dure-mère qui tapisse les deux tiers externes de la fosse temporale et surtout la voûte au-dessus de l'insertion de la tente du cervelet à l'exception de la partie très interne et antérieure qui est sous la dépendance de l'artère méningée antérieure, branche de l'artère ophtalmique. Son trajet dans les sillons méningés de la voûte est très aisément reconnaissable sur le cliché de profil *(fig 22)*.

■ *Artère pharyngienne ascendante*

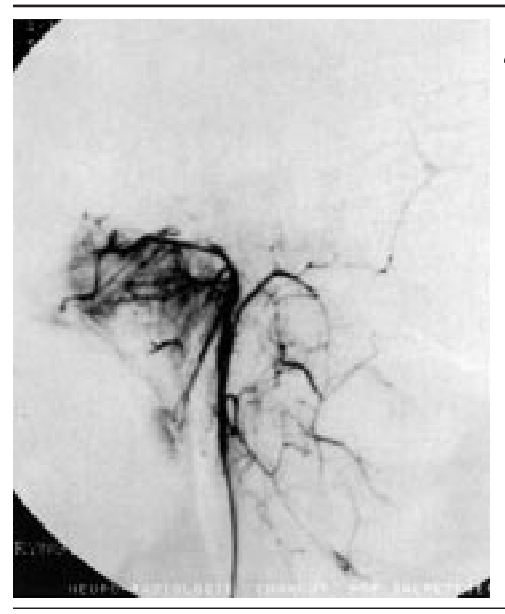
Elle vascularise la paroi postérieure du pharynx, la partie interne de l'étage moyen de la base, le rocher et la région du trou déchiré postérieur. Elle donne souvent un rameau méningé pour la dure-mère de la fosse postérieure *(fig 23)*.

■ *Artère occipitale*

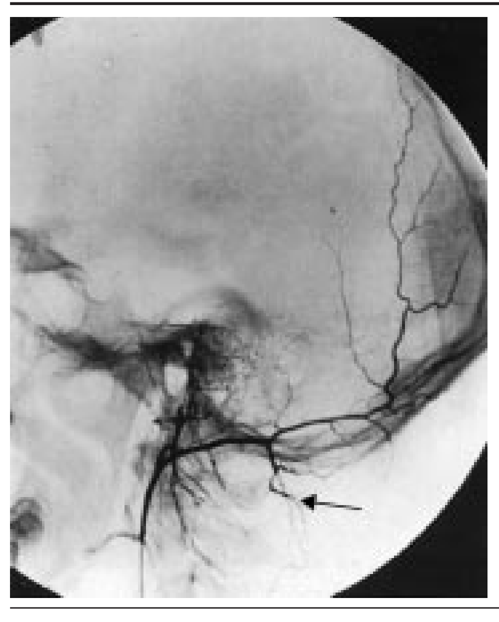
Elle vascularise la nuque, la voûte occipitale et donne un rameau méningé pratiquement constant pour la dure-mère qui tapisse la voûte occipitale au-dessous de l'insertion du sinus latéral. Il faut signaler qu'elle présente constamment une ou deux anastomoses segmentaires avec l'artère vertébrale homolatérale. Son trajet, oblique en haut et en arrière du conduit auditif externe, est parfaitement caractéristique sur le cliché de profil *(fig 24)*.



22 *Tronc maxillotemporal. 1. Artère méningée moyenne ; 2. artère temporale superficielle ; 3. artère maxillaire interne.*



23 *Artère pharyngienne ascendante.*



24 *Artère occipitale. Noter l'anastomose à l'artère vertébrale au niveau du trou occipital (flèche).*

Angiographie vertébrale

Nous nous limitons ici à l'étude des branches intracrâniennes de l'angiographie vertébrale. Une exploration complète des branches vertébrobasilaires doit comporter une étude des deux artères vertébrales, cependant, dans la majorité des cas, l'injection de l'artère vertébrale dominante est suffisante. Le système vertébrobasilaire vascularise l'ensemble de la fosse postérieure et le territoire des artères cérébrales postérieures (face

interne du lobe temporal, lobe occipital et thalamus) et région diencéphalique.

MÉTHODES D'EXPLORATION

Quelle que soit la voie d'abord utilisée, cathétérisme sélectif ou injection humérale rétrograde, son exploration doit comporter des clichés de face et de profil des deux artères vertébrales intracrâniennes.

ANATOMIE RADIOLOGIQUE

■ *Artères*

Artère vertébrale intracrânienne

L'artère vertébrale pénètre dans la fosse postérieure latéralement perforant la membrane atloïdoaxoïdienne. Elle contourne la face latérale du bulbe et se termine au niveau du sillon bulboprotubérantiel en s'anastomosant avec son homologue du côté opposé pour former le tronc basilaire. Dans certains cas, cette réunion se fait plus haut, à la face antérieure de la protubérance. Dans ce trajet, elle donne l'artère spinale antérieure de la moelle cervicale haute, de fins rameaux pour le bulbe et surtout l'artère cérébelleuse postéro-inférieure.

De profil, l'artère est oblique en haut et en avant et rejoint la lame basilaire de l'occipital. Elle présente souvent une courbe concave en avant, plus ou mois prononcée et qu'il ne faut pas confondre avec un refoulement pathologique *(fig 25)*.

De face, l'artère vertébrale s'étudie en incidence de Worms. Elle présente un trajet oblique en haut et en dedans, discrètement concave en dedans. Habituellement, sa terminaison se fait sur la ligne médiane par réunion à plein canal avec son homologue controlatérale, mais parfois cette terminaison peut être le siège d'un coude, en particulier lorsqu'une artère vertébrale est dominante *(fig 26)*.

Branches de l'artère vertébrale intracrânienne

– Les *artères cérébelleuses postéro-inférieures* sont les branches principales de l'artère vertébrale intracrânienne. Symétriques, elles naissent à un niveau variable et présentent deux segments parfaitement identifiables : latérobulbaire et amygdalien. Dans ce deuxième segment, chacune d'elles décrit une boucle dont le sommet est un bon repère du toit du IVe ventricule, puis elle se divise en branches lobaire et vermienne.
De face, l'artère cérébelleuse inférieure décrit une boucle de topographie variable selon le niveau d'origine, puis monte verticalement et se divise en deux branches : une branche lobaire qui suit grossièrement le bord supérieur du rocher et une branche vermienne qui apparaît strictement médiane.
De profil, elle décrit une boucle en « S » caractéristique, comportant plusieurs segments : le premier latérobulbaire a une direction globalement postérieure, mais son trajet dépend du niveau d'origine de l'artère sur la vertébrale ; puis elle décrit une courbe à convexité inférieure rétrobulbaire, enfin une courbe à concavité inférieure latéroamygdalienne dont la topographie est fixe. Le sommet de cette courbe, ou point choroïdien, correspond à sa division en branches vermienne et lobaire et constitue un repère important du toit du IVe ventricule.

– L'*artère méningée postérieure* peut naître indifféremment de l'artère vertébrale droite ou gauche lorsque celle-ci franchit le trou occipital. Elle se dirige en arrière et vascularise la dure-mère et l'écaille de l'occipital. Elle n'est le plus souvent visible que de profil.

– L'*artère spinale antérieure* de la moelle cervicale haute naît de la partie terminale de l'artère vertébrale et descend verticalement à la face antérieure du bulbe et de la moelle cervicale haute.

Tronc basilaire

Né de la réunion des deux artères vertébrales, il monte verticalement à la face antérieure du tronc cérébral et se termine au niveau du pédoncule en se divisant en artères cérébrales postérieures droite et gauche.

Dans son trajet, il donne de multiples artères perforantes pour le tronc cérébral et les artères cérébelleuses moyennes et supérieures.

Angiographiquement, de profil, le tronc basilaire suit la face postérieure du clivus dont il reste toujours séparé par un espace de plus de 3 mm. Ce trajet est souvent concave en arrière. De face, il est vu en raccourci sur l'incidence de Worms et son étude peut justifier une incidence de Blondeau. Il présente souvent une concavité droite ou gauche sans valeur pathologique mais sa terminaison se fait toujours sur la ligne médiane.

Branches du tronc basilaire

- *Artères perforantes*

Elles sont trop grêles pour être individualisées en angiographie.

- *Artères cérébelleuses moyennes*

Elles naissent à la hauteur de l'émergence du V, au tiers inférieur du tronc basilaire. Leur nombre et leur développement sont sujets à de nombreuses variations. Dans certains cas, une artère cérébelleuse moyenne peut suppléer une artère cérébelleuse postéro-inférieure atrésique *(fig 27)*.

Sur les angiographies de profil, la superposition des rochers ne permet pas de les visualiser. En revanche, elles sont souvent visibles de face (Worms) : elles se séparent à angle droit du tronc basilaire 1 cm après son origine et se dirigent vers l'angle pontocérébelleux.

- *Artères cérébelleuses supérieures*

Il en existe habituellement une de chaque côté, mais leur nombre est très variable, jusqu'à trois du même côté. Elles naissent à la partie terminale du tronc basilaire, contournant les pédoncules cérébraux et se ramifient en branches vermienne et hémisphérique à la face supérieure du cervelet.

En angiographie de profil, elles présentent d'abord une courbe harmonieuse concave en haut, sous-jacente à celle des artères cérébrales postérieures ; puis un trajet ascendant contournant le culmen ; enfin, elles redescendent le long de la face supérieure du cervelet. De face, leur trajet en « lyre », symétrique, circonscrivant le tronc cérébral, est caractéristique. Cette « lyre » croise dans l'espace celle beaucoup plus ouverte des artères cérébrales postérieures. Leurs différentes branches sont en revanche difficiles à repérer du fait des superpositions avec les branches des artères cérébrales postérieures.

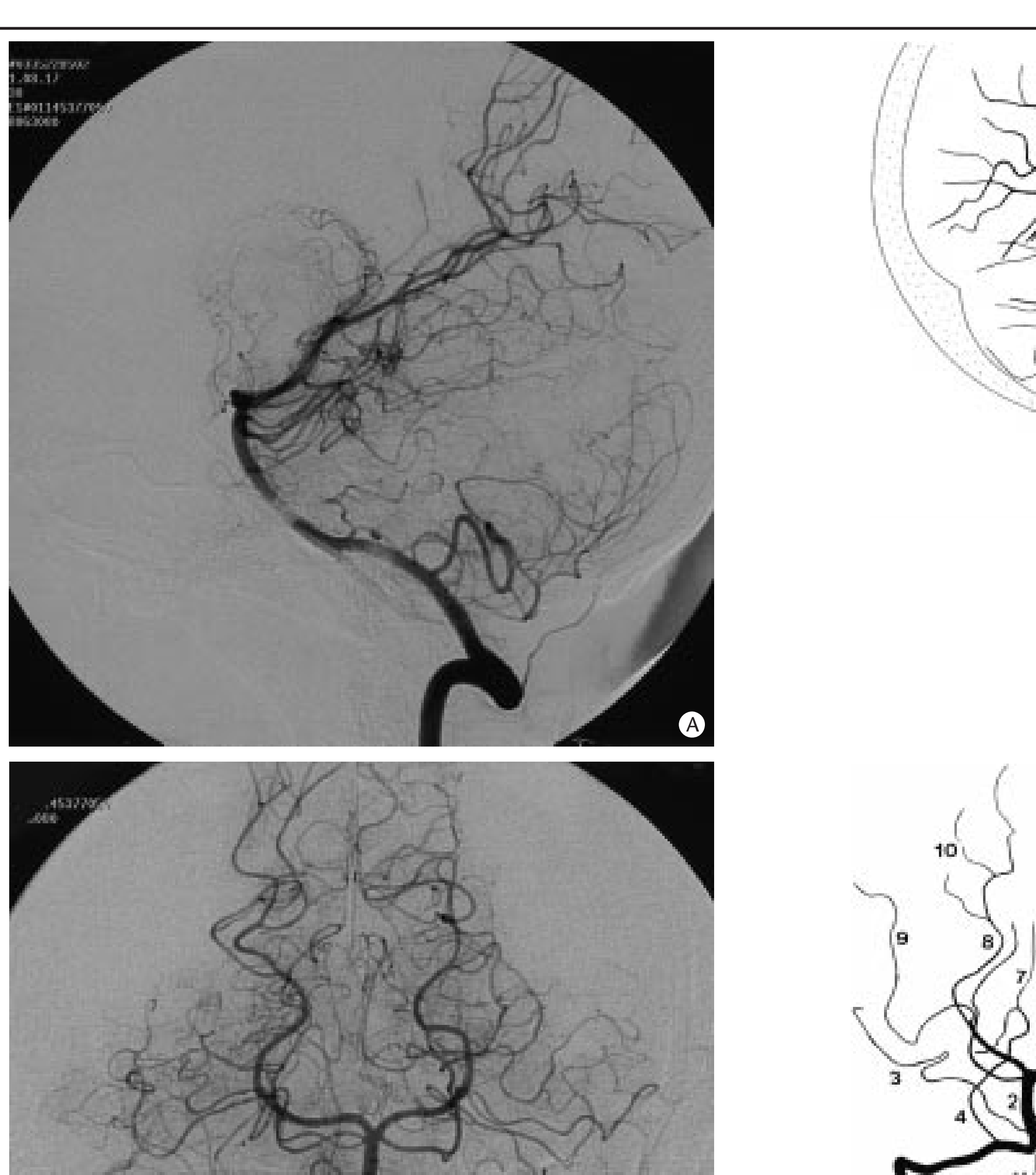
- *Artères cérébrales postérieures*

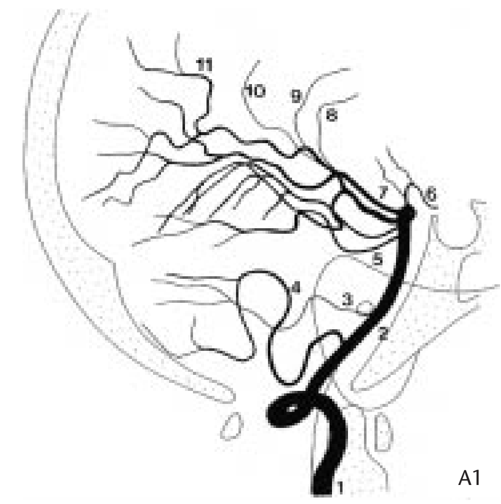
Branches terminales du tronc basilaire, dans 10 % des cas environ, elles peuvent naître de la terminaison de la carotide, cette anomalie étant très rarement bilatérale. L'artère cérébrale postérieure et ses branches assurent la vascularisation des faces interne et inférieure du lobe temporal, de la face interne du lobe occipital, du thalamus, de la toile choroïdienne du IIIe ventricule et des ventricules latéraux, du splénium du corps calleux, des tubercules quadrijumeaux et de la partie postérieure du IIIe ventricule.

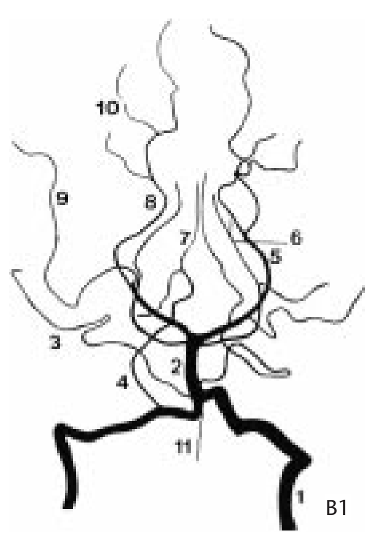
L'artère cérébrale postérieure contourne la face antérieure puis latérale des pédoncules cérébraux en regard de l'émergence de la troisième paire crânienne et se divise au niveau du tectum en des branches corticales occipitale interne et temporale inférieure. L'artère occipitale interne chemine dans la scissure interhémisphérique et donne l'artère calcarine. L'artère temporale inférieure chemine à la face inférieure du lobe temporal sur laquelle elle se ramifie. Dans son trajet circumpédonculaire, 1 cm après son origine, l'artère cérébrale postérieure émet l'artère communicante postérieure qui l'anastomose à la carotide interne. Outre ses branches corticales, l'artère cérébrale postérieure donne plusieurs branches centrales destinées au thalamus et à la partie postérieure du IIIe ventricule.

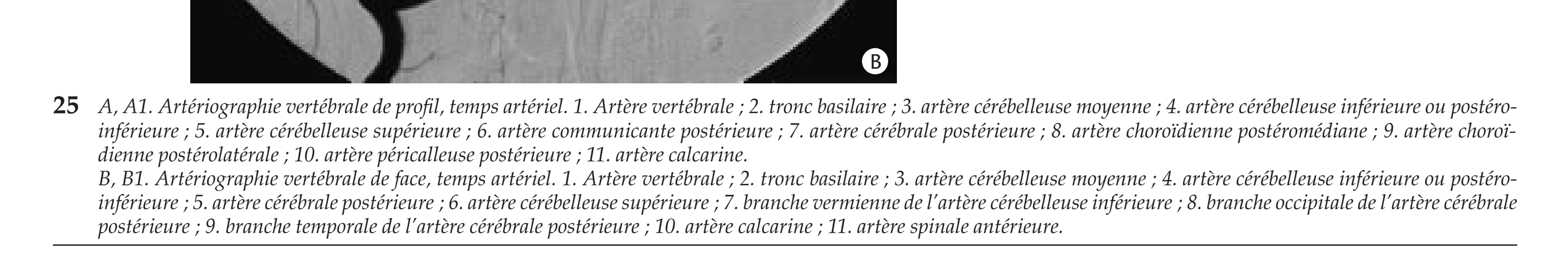
L'angiographie de profil et en incidence de Worms permet d'analyser le tronc et les branches corticales de l'artère cérébrale postérieure.

De profil, le tronc de l'artère cérébrale postérieure se dirige en arrière perpendiculairement au tronc basilaire. Ce trajet rectiligne chez









25 *A, A1. Artériographie vertébrale de profil, temps artériel. 1. Artère vertébrale ; 2. tronc basilaire ; 3. artère cérébelleuse moyenne ; 4. artère cérébelleuse inférieure ou postéro-inférieure ; 5. artère cérébelleuse supérieure ; 6. artère communicante postérieure ; 7. artère cérébrale postérieure ; 8. artère choroïdienne postéromédiane ; 9. artère choroïdienne postérolatérale ; 10. artère péricalleuse postérieure ; 11. artère calcarine.*
B, B1. Artériographie vertébrale de face, temps artériel. 1. Artère vertébrale ; 2. tronc basilaire ; 3. artère cérébelleuse moyenne ; 4. artère cérébelleuse inférieure ou postéro-inférieure ; 5. artère cérébrale postérieure ; 6. artère cérébelleuse supérieure ; 7. branche vermienne de l'artère cérébelleuse inférieure ; 8. branche occipitale de l'artère cérébrale postérieure ; 9. branche temporale de l'artère cérébrale postérieure ; 10. artère calcarine ; 11. artère spinale antérieure.

l'adulte jeune et l'enfant devient souvent concave en haut chez le sujet âgé. Puis, à la face postérieure du tronc, l'artère se divise en une branche discrètement ascendante, l'artère occipitale interne, et une branche descendante temporale inférieure dont les rameaux vont se superposer aux branches de l'artère cérébelleuse supérieure.

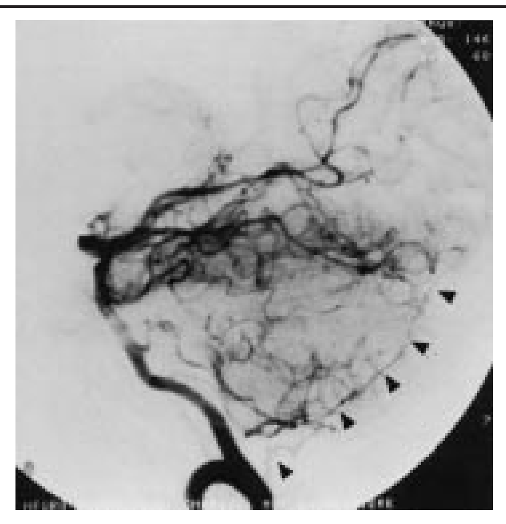
De face, le trajet en « lyre » circumpédonculaire des deux artères cérébrales postérieures est un signe important de la situation et de la taille des pédoncules cérébraux. Cette « lyre » est beaucoup plus ouverte que celle des artères cérébelleuses supérieures. Dans cette incidence, la branche temporale interne à direction externe se différencie très aisément de l'artère occipitale interne qui décrit des boucles proches de la ligne médiane.

Branches diencéphaliques

Il s'agit de fins rameaux artériels qui naissent de l'artère communicante postérieure et du tronc de l'artère cérébrale postérieure dans son trajet circumpédonculaire :



26 *Artère vertébrale de face. Artère vertébrale droite dominante avec présence d'une boucle artérielle au niveau de l'angle pontocérébelleux.*



27 *Origine commune de l'artère cérébelleuse inférieure et de l'artère cérébelleuse moyenne au niveau du tiers inférieur du tronc basilaire. Noter l'excellente visibilité de l'artère méningée postérieure (têtes de flèches) et de l'artère spinale antérieure de la moelle cervicale supérieure.*

– artères thalamiques inférieures nées de la communicante postérieure, très grêles. Elles vascularisent la partie inférieure du thalamus ;

– artères thalamiques nées du tronc de l'artère cérébrale postérieure ;

– artère choroïdienne postéromédiane née de la cérébrale postérieure peu après la communicante. Elle longe son bord supérieur, puis le thalamus et pénètre dans la toile choroïdienne du IIIe ventricule qu'elle vascularise, ainsi que les noyaux antérieurs du thalamus ;

– artère choroïdienne postérolatérale qui croise la face interne du pulvinar et pénètre dans la fissure choroïdienne du ventricule latéral droit. Elle vascularise les plexus choroïdiens ;

– artère péricalleuse postérieure qui suit la face supérieure du splénium du corps calleux.

Sur l'angiographie, ces branches son bien analysables de profil, mais aussi sur l'incidence de Blondeau qui les dégage des superpositions avec les artères cérébelleuse supérieure et cérébrale postérieure.

De profil, on individualise d'avant en arrière les artères thalamiques inférieures, les choroïdiennes postéromédiane et postérolatérale qui décrivent une courbe concave en avant et l'artère péricalleuse postérieure.

De face, en incidence de Blondeau, les artères choroïdiennes postéromédianes et postérolatérales forment un cercle enserrant le thalamus.

■ *Parenchymographie*

L'étude du temps intermédiaire montre une prise de contraste homogène du cervelet dont on délimite bien les contours sur l'incidence de profil. Elle permet ainsi de mettre en évidence la situation des amygdales cérébelleuses par rapport au trou occipital.

■ *Veines de la fosse postérieure*

Le retour veineux de l'injection dans l'artère vertébrale opacifie les veines de la fosse postérieure et les veines occipitales.

Les travaux de Huang et de Braun ont particulièrement bien étudié les veines de la fosse postérieure.

On peut ainsi distinguer trois groupes de veines selon leur drainage (*fig 28*) :

– un *groupe supérieur* se drainant par l'intermédiaire de la veine basilaire et de la veine cérébrale interne dans le sinus droit ;

– un *groupe postérieur* se drainant vers les sinus latéraux ;

– un *groupe antérieur* se drainant vers le sinus pétreux.

Groupe supérieur

Il est formé de trois veines principales très souvent identifiables sur une angiographie sélective.

– La *veine mésencéphalique postérieure* contourne la face latérale du pédoncule cérébral. Elle reçoit habituellement à la hauteur des sillons latéromésencéphaliques la veine mésencéphalique latérale verticalement ascendante. Puis elle se redresse et se jette dans la terminaison de la veine cérébrale interne. Elle est habituellement identifiable sur les clichés de face (Worms) et de profil.
De face, elle présente un trajet oblique en haut et en avant parallèle à celui de la veine basilaire.
De profil, elle croise d'avant en arrière la partie supérieure des pédoncules cérébraux et se redresse pour se jeter dans la veine cérébrale interne.
La veine mésencéphalique latérale est de petit calibre et inconstamment opacifiée.

– La *veine précentrale* naît dans le sillon précentral sur la face postérieure de la plaque quadrijumelle et se jette par un trajet vertical dans la terminaison de la veine cérébrale interne. De profil, elle est caractéristique par son trajet en « virgule » dont l'angle correspond au point colliculocentral.
Sa portion initiale est un repère du toit du IVe ventricule. De face, la veine précentrale est visible sur la ligne médiane à la moitié antérosupérieure de la fosse postérieure, jusqu'au sinus droit.

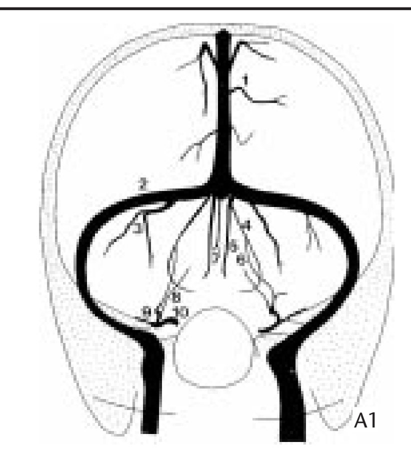
– La *veine vermienne supérieure* assure le retour veineux de la moitié supérieure du vermis et de l'hémisphère. Paramédiane, elle se dirige en haut et en avant et se jette dans la veine cérébrale interne. Elle est habituellement invisible de face. De profil, elle est reconnaissable à sa direction antéropostérieure croisant la partie terminale de la veine précentrale.

Groupe postérieur

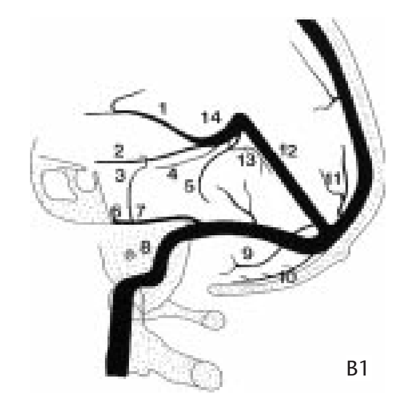
Il comprend, d'une part des veines hémisphériques inférieures, de topographie variable, se jetant dans les sinus latéraux ; d'autre part, la veine vermienne inférieure, quasi constante.

– Les *veines hémisphériques* ne sont individualisées qu'en incidence de face où elles présentent un trajet antéropostérieur vers le sinus latéral. De profil, elles suivent l'écaille de l'occipital.









28 *A, A1. Artériographie vertébrale de face, temps veineux. 1. Veine occipitale interne ; 2. sinus latéral ; 3. veine hémisphérique cérébelleuse ; 4. veine mésencéphalique postérieure ; 5. veine vermienne inférieure ; 6. veine précentrale ; 7. veine mésencéphalique latérale ; 8. veine du récessus latéral du IVe ventricule ; 9. veine pétreuse ; 10. sinus pétreux supérieur.*
B, B1. Artériographie vertébrale de profil, temps veineux. 1. Veine cérébrale interne ; 2. veine basilaire ; 3. veine pontomésencéphalique antérieure ; 4. veine mésencéphalique postérieure ; 5. veine précentrale ; 6. sinus pétreux inférieur ; 7. sinus pétreux supérieur ; 8. sinus sigmoïde ; 9. veine vermienne cérébelleuse ; 10. veine hémisphérique cérébelleuse ; 11. veine occipitale interne ; 12. sinus droit ; 13. veine vermienne supérieure ; 14. veine de Galien.

– La *veine vermienne inférieure* est constante mais peut présenter des atypies d'origine. Elle naît à la face postérieure de l'amygdale, de la réunion de deux veines amygdaliennes. Elle se dirige en haut et en arrière, le long du vermis, et se termine dans le torcular ou le sinus droit.

De profil, son origine au point copulaire est un repère important du bord postérieur de l'amygdale cérébelleuse. Son trajet, concave en haut, parallèle à la table interne mais à distance d'elle, permet de la reconnaître aisément.

De face, elle est en situation paramédiane, juste en dehors de la veine précentrale et s'étend de la partie moyenne de la fosse postérieure jusqu'au torcular.

Groupe antérieur

Il comprend un groupe de veines se jetant dans les sinus pétreux supérieur et inférieur et drainant la partie antérieure du tronc cérébral et du cervelet. Ces veines se jettent dans la veine pétreuse.

On en distingue cinq groupes dont les principaux éléments sont la veine pontomésencéphalique antérieure et la veine du récessus latéral du IVe ventricule.

– La *veine pontomésencéphalique antérieure* naît au niveau de l'espace perforé antérieur, gagne la citerne interpédonculaire, chemine à la face antérieure du tronc et se termine habituellement en se jetant dans la veine pétreuse, plus rarement dans la veine spinale antérieure.
De profil, elle dessine la citerne interpédonculaire et la face antérieure de la protubérance.

– La *veine du récessus latéral et du IVe ventricule* chemine depuis le pôle supérieur de l'amygdale jusqu'à l'angle pontocérébelleux où elle se jette dans la veine pétreuse. Elle est habituellement bien visible de face : elle naît à 1 cm de la ligne médiane à la partie moyenne de la fosse postérieure, dessine un arc à concavité interne, puis, après un coude, se jette dans la veine pétreuse.

– La *veine pétreuse* naît à l'angle antérieur du cervelet, du confluent des veines précédentes. Elle se dirige en avant et en dehors et se jette rapidement dans le sinus pétreux supérieur.
De face, elle se projette dans l'angle pontocérébelleux sous forme d'une veine courte et souvent volumineuse. Elle constitue un excellent repère des processus expansifs de l'angle.
De profil, elle se projette au bord supérieur de la pyramide pétreuse, mais est souvent masquée par les superpositions osseuses.

Conclusion

L'angiographie cérébrale a perdu beaucoup de son intérêt dans l'étude des processus pathologiques cérébraux avec le développement du scanner et surtout de l'IRM, puis plus récemment des techniques d'exploration vasculaire non invasives. Elle reste actuellement encore la technique de référence en pathologie vasculaire cérébrale. Elle demeure nécessaire à l'évaluation préthérapeutique des malformations vasculaires cérébrales, mais également des lésions ischémiques lorsqu'un geste endovasculaire est envisagé.

Références

[1] Djindjian R, Merland JJ. Super-selective arteriography of the external carotid artery. Heidelberg : Springer-Verlag, 1978

[2] Goldberg HI. The anterior choroidal artery. In : Newton TH, Potts DGeds. Radiology of the skull and brain. Angiography. St Louis : CV Mosby, 1974 : 1628-1658

[3] Hacker H. Superficial supratentorial veins and dural sinuses. In : Newton TH, Potts DGeds. Radiology of the skull and brain. Angiography. St Louis : CV Mosby, 1974 : 1851-1877

[4] Harwood-Nash DD, Fitz CR. Neuroradiology in infants and children. St Louis : CV Mosby, 1976

[5] Haughton VM, Rosenbaum AE. The normal and anomalous aortic and branchiocephalic arteries. In : Newton TH, Potts DG eds. Radiology of the skull and brain. Angiography. St Louis : CV Mosby, 1974 : 1145-1163

[6] Huang YP, Wolf BS. Veins of the posterior fossa. In : Newton TH, Potts DGeds. Radiology of the skull and brain. Angiography. St Louis : CV Mosby, 1974 : 2155-2219

[7] Krayenbuhl H, Yasargil MG. Cerebral angiography. Stuttgart : Thieme Verlag, 1982

[8] Lasjaunias P, Berenstein A. Functional vascular anatomy of brain, spinal cord and spine. In : Surgical neuro-angiography. Berlin : Springer-Verlag, 1990

[9] Lazorthes G, Gouaze A. Vascularisation et circulation cérébrales. Paris : Masson, 1976

[10] Lie TA. Congenital anomalies of carotid arteries. Amsterdam : Excerpta Medica Foundation, 1968

[11] Michotey P, Moscow N, Salamon G. Anatomical study of the cortical branches of the middle cerebral artery. In : Newton TH, Potts DGeds. Radiology of the skull and brain. Angiography. St Louis : CV Mosby, 1974 : 1471-1478

[12] Newton TH, Potts DG. Radiology of the skull and brain. Angiography. St Louis : CV Mosby, 1974

[13] Osborn AG. Diagnostic cerebral angiography. Baltimore : Lippincott-Williams and Wilkins, 1999

[14] Padget DH. The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib Embryol* 1948 ; 32 : 205

[15] Padget DH. The development of the cranial venous system in man, from the viewpoint of comparative anatomy. *Contrib Embryol* 1957 ; 36 : 79

[16] Salamon G. Atlas de la vascularisation artérielle du cerveau chez l'homme. Paris : Sandoz, 1971